Über Raumgewicht und Holzeigenschaften einiger Rotbuchen aus dem Hochgebirge

Wissenschaftliche Abhandlung
zur Erlangung der Doktorwürde
an der Staatswirtschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Forstreferendar W. Größler

Berichterstatter:
Dozent Regierungsforstrat Dr. Trendelenburg
Mitberichterstatter:
Geheimrat Prof. Dr. Fabricius

Tag der mündlichen Prüfung:
1. Februar 1939

*

Buchdruckerei G. Tschacher, Hirschberg i. Rsgb.

Über Raumgewicht und Holzeigenschaften einiger Rotbuchen aus dem Hochgebirge

Wissenschaftliche Abhandlung
zur Erlangung der Doktorwürde
an der Staatswirtschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Forstreferendar W. Größler

Berichterstatter:
Dozent Regierungsforstrat Dr. Trendelenburg

Mitberichterstatter:
Geheimrat Prof. Dr. Fabricius

Tag der mündlichen Prüfung:
1. Februar 1939

Buchdruckerei G. Tschacher, Hirschberg i. Rsgb.

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit

gewidmet

Inhaltsübersicht

Seite

Einleitung 8

A. Angabe des Untersuchungsgebietes und der Probestämme . 10

B. Äußere Baumeigenschaften

I. Krone 12

II. Schaft 12

III. Rinde 13

C. Wuchsuntersuchungen

I. Stammanalyse 14

II. Zuwachs 17

III. Ringbreiten 19

D. Holzeigenschaften

I. Raumgewicht und Raumdichtezahl

1. Verfahren der Entnahme und Ausformung der Probekörper

a) Bisher angewandte Verfahren 21

b) Jetzt angewandtes Verfahren 21

2. Raumgewicht oder Raumdichtezahl? 23

3. Ergebnisse

a) Verlauf der Raumdichtezahl im Stamm 25

aa) in der Längsrichtung 25

bb) in der Querrichtung 27

b) Ringbreite und Raumgewicht 30

c) Häufigkeitskurven des Raumgewichts und der Raumdichtezahl 33

d) Mengen- und Massenzuwachs 38

II. Schwindung

1. Raumdichtezahl und Schwindung 40

2. Ringbreite und Schwindung 44

3. Das Schwindmaß tangential, radial und längs zur Faser . 46

III. Festigkeitseigenschaften
1. Verfahren 48
2. Druckfestigkeit 49
3. Zugfestigkeit 51
4. Biegefestigkeit 52
5. Schlagbiegefestigkeit 54
6. Spaltfestigkeit 55
7. Allgemeines über die Festigkeit der Rotbuche
a) Gütezahl 56
b) Das Verhältnis der Druck- zur Zugfestigkeit 57
IV. Die Gebirgsbuche im Vergleich zu anderen Laubhölzern 58
E. **Zusammenfassung** 60
F. **Schriftenverzeichnis** 63

Zu Beginn dieser Arbeit möchte ich dem Referenten vorliegender Arbeit, Herrn Dr. R. Trendelenburg, Regierungsforstrat und Dozent an der Universität München, für seine überaus freundliche Unterstützung und Förderung meinen aufrichtigsten Dank aussprechen. Mein Dank gilt ferner den Forstamtsvorständen von Tegernsee und Kreuth,

Herrn Oberforstmeister J. Henseler und
Herrn Forstmeister Angerer, sowie dem
Herrn Forstverwalter von Glashütte Bisle,

die sich mit großem Verständnis meiner Aufgabe annahmen und mir ihre Hilfe und Hilfskräfte in liebenswürdiger Weise zur Verfügung stellten.

Einleitung.

Die Rotbuche der ebenen Lagen wurde schon oft zu eingehende forstlichen und holztechnologischen Untersuchungen herangezoger während über das Holz der Hochgebirgsbuche fast nichts bekann ist. Das Gebirgsholz wurde bisher ganz überwiegend zu Brenn holz verarbeitet. In dem Bayer. Forstamt Tegernsee, in dem ic mich als Referendar längere Zeit befand, ist der Anfall der Jahr 1927—1936 beispielsweise zu 99,4% als Brennholz, zu 0,6% al Nutzholz ausgehalten und verwendet worden; hierfür sind in erste Linie die schwierigen Bringungsverhältnisse verantwortlich z machen, da die steilen Hänge häufig das Zuschneiden des Stamm holzes in kürzere Abschnitte erfordern. Außerdem verhindert o vorzeitiger Schneefall bei der an sich kurzen Fällungszeit rech zeitige Fällung und Bringung der Hochgebirgsbuche. Danebe ist das starke Auftreten von rotem Kern und die große Astigke mit ein Grund für die ablehnende Haltung der holzverarbeitende Industrie, da das Holz sich für Schnittware weniger gut eignet.

Aber auch in anderen, günstiger gelegenen Buchengebieten i das Verhältnis von Nutzholz zu Brennholz recht ungünstig.

In der Verwertung der Rotbuche ist in den letzten Jahren ei Umschwung eingetreten; beim Nutzholz sei nur an das kunsthar verleimte Schichtholz und das verdichtete Lignostone, beim Chemi holz an die Zellstoffherstellung erinnert. Das Wolfener We der J. G. Farbenindustrie verarbeitet jährlich große Menge Buchenholz zu Zellstoff, andere Zellstoffwerke in allen Gegende Deutschlands stellen sich wenigstens zum Teil auf Buche um un neue Buchenzellstoffwerke sind im Entstehen begriffen. Aber au die Verwendung der Rotbuche als Straßenpflaster oder Brücke belag rückt in waldreichen Gegenden immer mehr in den Vorde grund, seitdem es die einfachen Salz-Tränkverfahren gibt, m denen das Holz im Wald behandelt werden kann.

Die Forstwirtschaft ist im Rahmen des Vierjahresplanes z bestmöglicher Ausnützung des gesamten anfallenden Holzes ve pflichtet. Hieraus und aus den geänderten Marktbedingunge wird sich auch die Verwendung der Hochgebirgsbuche ändern. E

werden in Bayern allein große Massen von Hochgebirgsbuchenholz in die Nutzholzverwertung einbezogen werden können, wenn sich durch bessere Aufschließung und gesteigerte Verwendungsmöglichkeiten des Holzes die Bringung lohnt.

Zweck meiner Arbeit war daher in erster Linie, Zahlengrundlagen für die Eigenschaften des Hochgebirgsbuchenholzes zu geben und einen Vergleich von Wuchsleistung und Holzbeschaffenheit unter den klimatischen Verhältnissen des Hochgebirges durchzuführen, der für forstlich-biologische Fragestellungen wichtig schien. Gleichzeitig sollten für die bisher in Deutschland nicht untersuchte Festigkeit des Holzes in frischem Zustand Zahlen geliefert und der Vergleich mit den lufttrockenen Werten angestellt werden. Auch für das Schwindmaß waren weitere Unterlagen zu schaffen.

Da in allen Stämmen roter Kern auftrat, konnte der Einfluß der Verkernung auf die Holzbeschaffenheit erfaßt werden.

A. Angabe des Untersuchungsgebietes und der Probestämme.

Dank der freundlichen Unterstützung des Forstamtsvorstandes von Kreuth, Herrn Forstmeister Angerer, sowie des Forstverwalters Bisle von Glashütte wurde in der Abteilung XIV. 3 „Breitenkopf" ein Fichten-Buchen-Mischbestand gefunden, der bei einer Höhe bis zu 1350 m Meereshöhe noch in regelmäßiger Bewirtschaftung stand.

Der Bestand stockt auf Hauptdolomit und hat ein Alter von 150—200 Jahren. Der Bestand setzt sich aus 0,7 Fichte, 0,2 Buche und 0,1 Tanne und Ahorn in stammweiser Mischung zusammen.

Es wurden in etwa 1300 und 1200 m Höhe je zwei Stämme entnommen, die in ihrer Form und Stellung im Bestand als normal anzusehen waren.

In Tabelle 1 sind alle wichtigen Angaben über die vier Probestämme enthalten. Der Durchmesserabfall wurde jeweils für 4 m-Abschnitte angegeben, da hierdurch eine Abholzigkeit bezw. Vollholzigkeit der einzelnen Stammteile klarer erkennbar wurde.

Aus den Forstamtsakten konnten die klimatischen Verhältnisse des Bestandes während der letzten Jahre entnommen werden. Die Niederschlagsmenge beträgt im Jahresdurchschnitt 1755 mm, die durchschnittliche Jahrestemperatur ist 4.7 °C.

Da für Gebirgsbuche Ertragstafeln fehlen, konnte der Bestand in keine Standortsklasse eingereiht werden.

Tabelle 1

	Buche 1	Buche 2	Buche 3	Buche 4
Höhe über N.N. in m	1325	1305	1190	1185
Alter in Jahren	204	155	204	165
Stammhöhe in m	23,20	21,60	22,40	22,80
Durchmesserabfall je m in cm				
0—4 m Stammhöhe	1,40	1,35	1,35	1,23
4—8 m „	0,58	0,75	0,85	0,55
8—12 m „	0,95	1,50	1,68	0,95
12—16 m „	1,70	2,23	1,75	1,45
0—18 m „	**1,37**	**1,45**	**1,49**	**1,19**
Kronenansatz in m Höhe	10,90	13,00	16,00	8,70
Kronenausmaß in m Durchmesser	5,76	4,50	4,38	5,67
Kronenanteil	53 %	40 %	29 %	62 %
Inhalt ohne Rinde in fm	1,10	0,96	1,19	0,86
Rindenanteil bez. a. Inh. m. Rinde in %	7,9	6,7	6,4	7,0
Hanglage und Neigung	SW 30 %	S 7 %	SSO 30 %	S 40 %
Umgebung Himmelsrichtung, Abstand in m, Holzart (gr groß, mt mittel, kl klein)	NNO 3,0 gr Fi OSO 5,0 gr Fi	NW 6,5 gr Fi 5,0 kl Bu N 6,5 mt Fi NO 3,0 kl Ah O 6,0 mt Bu	S 5,0 mt Bu W 4 0 mt Fi NW 8,0 mt Fi N 0,5 kl Ta NO 6,0 mit Ah	S 7,0 mt Bu WNW 4,0 mt Fi NN W 10,0 mt Fi NO 8,5 mt Bu
Besondere Merkmale	Krone fehlt auf O-Seite Zwiesel in 14 9 m Hauptstamm oberhalb verfault.	Krone S-SW Gipfelbruch bei 18,90 m Äste alle im S	Krone voll, Zwiesel in 16,40 m	Krone im S

B. Äußere Baumeigenschaften.

Unter Baumeigenschaften versteht man die Ausbildung von Krone, Schaft und Rinde sowie den äußeren statischen Aufbau des einzelnen Baumes.

I. Krone.

Die vorliegenden Probestämme unterscheiden sich in ihrer äußeren Form wenig voneinander. Die Kronenausbildung war fast überall einseitig nach der hangabwärts gelegenen Seite. Die Krone reicht teilweise noch über die Hälfte des Stammes herab, obwohl der Bestand vor dem in den letzten Jahren erfolgten Aushieb der Fichten durchaus als geschlossen zu bezeichnen war. Der Kronenanteil, bezogen auf die gesamte Stammhöhe, beträgt in Hundertteilen:

Buche	1	53,0
„	2	39,8
„	3	28,6
„	4	61,9

Hierbei handelt es sich nicht um den Ansatzpunkt des untersten grünen Astes, sondern um den Beginn der eigentlichen Krone.

II. Schaft.

Die Schaftform der Probestämme ist für einen Hochgebirgsbuchenbestand verhältnismäßig gerade und astrein. Stamm 1 und 3 zeigen bereits oberhalb des Kronenansatzes eine Zwieselung des Schaftes, was aber auf den astreinen Nutzholzteil keinen äußerlich merkbaren Einfluß hat. Stamm 3 weist am Stock eine leichte hangabwärtsgerichtete Krümmung auf, ähnlich dem bekannten Krückstock der Lärche. Die durch diese Krümmung auftretenden etwaigen Fehlerquellen wurden dadurch ausgeschaltet, daß die erste Probescheibe (Scheibe I) erst in etwa 70 cm Höhe über dem Boden (von der Hangseite gemessen) entnommen wurde.

Bemerkenswert ist die Aehnlichkeit der Schaftform bei allen 4 Probestämmen. In den unteren, bis in eine Höhe von 4 m reichenden Stammteilen kann eine starke Abholzigkeit nachgewiesen werden. Nach vorübergehender sehr vollholziger Form (zwischen

4—8 m Höhe) ist der Schaft in dem über 8 m liegenden Teil wieder in zunehmendem Maße abholzig.

Bei Stamm 4 fällt eine Einschnürung an der SO-Seite auf, die sich vom Wurzelanlauf bis unter einen starken grünen Ast in einer Höhe von etwa 10 m erstreckte. Diese Einschnürung erklärt Gayer-Fabricius (1936) dahingehend, daß durch den übergroßen Nährstoffverbrauch des starken Astes die unter ihm liegenden Stammteile nur geringe Nährstoffzufuhr aus der Krone erhalten und somit der Zuwachs dort nur sehr gering ist. Einen merkbaren Einfluß auf die Untersuchungen hatte diese Einschnürung aber nicht, da die Entnahme der Proben in einer Scheibenzone erfolgte, die von der Zuwachsstörung nicht mehr betroffen wurde. Außerdem ist diese Einschnürung schon in geringer Entfernung von der Rinde im Innern kaum noch wahrzunehmen. Die Zuwachsstockung unterhalb des Astes ist nur etwa 20 Jahre alt, obgleich sich die Ansätze dazu schon viel weiter zurück verfolgen lassen.

III. Rinde.

In dem unteren Schaftteil der Probestämme ist die Rinde nahezu gleichmäßig stark ausgebildet und nimmt nach oben nur langsam ab. Die durchschnittliche Rindenstärke betrug im einzelnen:

Durchschnitt Buche 1—4	0— 4 m Höhe	5,1 mm
	4— 8 m „	5,1 mm
	8—12 m „	4,1 mm
	über 12 m „	3,3 mm

Die Rinde ist im allgemeinen glatt und in allen Himmelsrichtungen gleich stark. Bezogen auf den Inhalt mit Rinde ergibt sich ein Rindenanteil in Hundertteilen von:

Buche	1	7,9
„	2	6,7
„	3	6,4
„	4	7,0

Diese Werte sind mit dem Rindenanteil 5,8% zu vergleichen, den R. Hartig (1888) für die Buche des Flachlandes angibt.

Die Hochgebirgsbuche weist also einen nur unbeträchtlich größeren Rindenanteil auf. Dies ist deshalb bemerkenswert, da sich bei anderen Holzarten, wie z. B. der Fichte der Rindenanteil mit dem Standort (Höhenlage) sehr stark ändern kann (4—15%). So fand Guttenberg (1915) bei Fichte einen geringsten Anteil von 6,3% und einen größten Anteil von 14,6%.

C. Wuchsuntersuchungen.

I. Stammanalyse.

Die Stammwuchsuntersuchung, auch Stammanalyse genannt, bildet nach Trendelenburg (1937) „die Grundlage zur Verknüpfung der Ergebnisse der mechanisch-technischen und chemisch-physikalischen Holzforschung mit den Stammeigenschaften und den forstlich-biologischen Erzeugungsbedingungen."

Den 4 Probestämmen wurden zu diesem Zwecke etwa 10 cm starke Scheiben entnommen, und zwar im unteren Stammteil mit 1 m Abstand, in dem oberen Stammteil mit 2 m Zwischenraum, und derart bezeichnet, daß Scheibe I am Stockabschnitt bei 0,00—0,10 m Höhe lag. Die Stammhöhe der einzelnen Scheiben betrug:

Scheibe	Stamm 1	Stamm 2	Stamm 3	Stamm 4
	Höhe in m			
I	0,00— 0,10	0,00— 0,10	0,00— 0,10	0,00— 0,10
II	1,10— 1,22[1]	1,10— 1,20	1,10— 1,20[2]	1,10— 1,20
III	2,20— 2,30	2,20— 2,30	1,70— 1,80[2]	2,20— 2,30
IV	3,30— 3,40		3,20— 3,30	3,30— 3,40
V		4,40— 4,50		
VI	5,50— 5,60	5,50— 5,60	5,40— 5,50[1]	5,50— 5,60
VIII	7,90— 8,00[1]	7,85— 7,95[1]	7,70— 7,80	7,70— 7,80
X	10,00—10,10[1]	9,90—10,00	9,80— 9,90[1]	10,10—10,20
XII	12,30—12,35[1]	12,20 12,30[1]	12,05—12,23[1]	12,30—12,40[1]
XIV	14,45—14.50[1]	14,35—14,45[1]	13,80—13,90[1]	14,30—14.40
XVI		16,55—16,60	15,90—16.10[1]	16,47—16,57[1]
XVII	17,40—17.50[1]			
XVIII	18,50—18,60[1]	17,90—18,00[1]	18,74—18,87[1]	18,70—18,80

[1]) Verschiebung wegen Ast oder Astnähe.

[2]) Da für Festigkeitsuntersuchungen ein längerer Stammabschnitt benötigt wird, wegen des schwierigen Transportes aber auf 1-m-Abschnitte verzichtet werden mußte, wurde ein Abschnitt von 1.10—1 80 m gewählt und diesem an der Unterseite Scheibe II und an der Oberseite Scheibe III entnommen.

Die Nordrichtung wurde am stehenden Stamm angezeichnet und bei der Zerteilung auf jede Scheibe übertragen.

Es wurde nun bei allen Scheiben von außen beginnend je 5 Jahre abgezählt und bezeichnet, und mittels eines Zuwachsmaßstabes die Entfernung dieser Punkte vom Mark in allen 4 Himmelsrichtungen gemessen.

Durch diese Untersuchungsweise erhält man ein genaues Wuchsbild des Stammes in verkleinertem Maßstab, das, wie Abbildung 1 zeigt, keinen symmetrischen Aufbau besitzt.

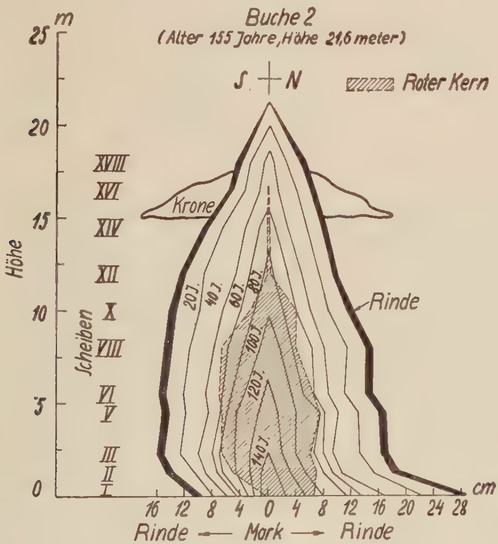


Abb. 1

Bei den Probestämmen war eine starke Rotkernigkeit festzustellen, deren Verteilungsform bei allen 4 Stämmen sehr ähnlich war.

Bei Scheibe I ist meist nur wenig rotkerniges Holz vorhanden; dann nimmt der Anteil bis in etwa 5—6 m Höhe stark zu, um von da an wieder rasch gegen die Krone hin abzufallen. Meist zieht sich der rote Kern dann im Mark als dünne Zone bis weit in die Krone hinauf, ehe er gänzlich aufhört.

Die Ausdehnung innerhalb einer Stammhöhe erfolgt häufig völlig unregelmäßig und ist nicht an den Jahrringverlauf gebunden. Starke Ausbuchtungen und lange Spitzen, die oft bis an die Grenze von Kern und Splint reichen, sind keine Seltenheit. In manchen Stammteilen ist der rote Kern auch regelmäßig ausgebildet.

Der Anteil des roten Kernes an dem Stamminhalt, gemessen ohne Rinde, beträgt bei den einzelnen Probestämmen:

	Inhalt o. R. m^3	roter Kern m^3	Anteil %
Buche 1	1,10	0,014	1,3
„ 2	0,96	0,104	10,8
„ 3	1,19	0,095	8,0
„ 4	0,86	0,027	3,1

Die Stammanalyse gab auch erwünschte Gelegenheit nachzuprüfen, ob der Bau der Probestämme der Theorie von Metzger entspricht. Nach Metzger (1899, 1908) ist der Baum ein Träger gleichen Widerstandes, was man dadurch feststellen kann, daß man die Kuben der ausgeglichenen Durchmesser graphisch aufträgt und prüft, ob sich die einzelnen Kurvenpunkte durch eine Gerade verbinden lassen. Wie bei Schleicher (1935) ist das auch hier bei den Probestämmen 1—4 bei den Durchmesserkuben von 6—14 m Höhe der Fall. (Abb. 2.)

Außerdem wurde auch festgestellt, ob diese Gerade durch den Kronenschwerpunkt geht, was dann der Fall sein muß, wenn der Stamm wirklich genau als Träger gleichen Widerstandes gebaut ist. Bei 3 meiner Stämme liegt jedoch der Schnittpunkt von Stammachse und der Geraden deutlich über dem Kronenschwerpunkt (Abb. 2). Dies bedeutet, daß der einzelne Stamm gegenüber einem Träger gleicher Biegefestigkeit zu vollholzig, d. h. im unteren Teil zu schwach gebaut ist. Nur bei Stamm 3 schneidet die Gerade die Stammachse nur wenig über dem Kronenschwerpunkt.

Die Metzger'sche Theorie trifft also für die untersuchten Stämme nicht durchweg zu, was wohl darauf zurückzuführen ist, daß die Eigenfestigkeit des Holzes außer acht gelassen ist. Diese ist bei Buche naturgemäß höher als bei den Nadelhölzern, bei denen die Theorie besser zutrifft.

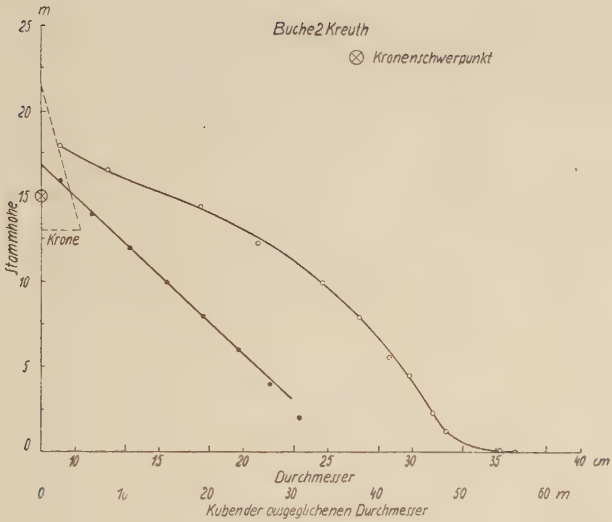


Abb. 2

II. Zuwachs.

Der Inhalt sowie der Zuwachs der Probestämme wurde durch Planimetrierung der quadrierten Radien ermittelt. Multipliziert man diese gefundenen Werte für Inhalt und Zuwachs mit dem Raumgewicht, so erhält man die vorhandene wie auch die im Laufe verschiedener Perioden gebildete Holzsubstanz, was besonders für die Beurteilung der tatsächlichen Holzmassenleistung (in kg) unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen wichtig ist.

Aus beigefügter Abbildung 3 ersieht man den Verlauf des laufenden sowie des durchschnittlichen Zuwachses. Der laufende Zuwachs ist also noch längst nicht abgeschlossen, sondern zeigt noch zunehmende Tendenz. Die Kulmination der Kurve des laufenden Zuwachses sowie der Schnittpunkt der Kurven des laufenden und durchschnittlichen Zuwachses dürfte erst in sehr später Zeit zu erwarten sein. Bei einem 100 jährigen Umtrieb würde daher nur ein geringer Teil der tatsächlichen Wuchsleistung dieser Buchen ausgenutzt.

Auffallend ist eine Zuwachsstockung zwischen den Jahren 1857—1877 und z. T. etwas früher. Da für diese Stockung verschiedene Gründe maßgebend sein konnten, wurde aus dem gleichen Bestand einigen etwa gleichalten Fichten Bohrspäne entnommen und diese

gemessen. Es stellte sich heraus, daß von 5 Stämmen zwei fast keine Zuwachsstockung in der fraglichen Zeit aufwiesen, die übrigen 3 Stämme aber auch eine Stockung des Zuwachses in dem in

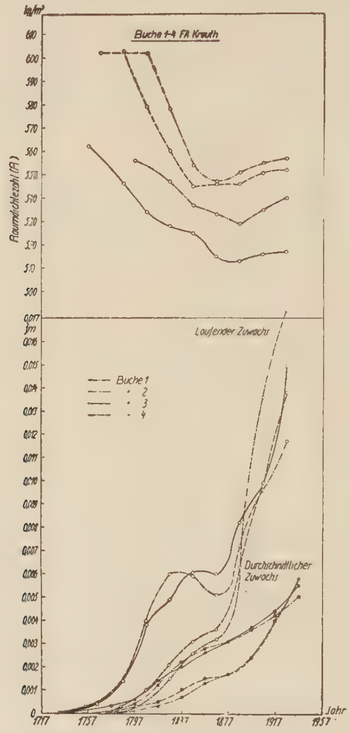


Abb. 3

Frage kommenden Zeitabschnitt aufwiesen. Als Beispiel sei das Ergebnis der Zuwachsmessung von Fichte 1—5 angefügt:

Zuwachs in Abschn. von 20 Jahren in mm

Fichte	1797—1817	1817—1837	1837—1857	1857—1877	1877—1897	1897—1917
1	—	—	39,4	34,4	48,9	35,4
2	24,7	21,2	19,0	19,4	28,9	36.4
3	—	67,5	42,6	26,9	18,3	9,6
4	—	50,2	33,9	28,6	19,2	13,8
5	—	14,6	11,8	29,6	46,2	46,5

Es wurde ferner festgestellt, daß diese Zuwachsstockung, die bei Fichte nur zum Teil beobachtet werden konnte, nicht 1 oder 2 Jahre umfaßt, wie es bei klimatischen Einflüssen gewöhnlich der Fall ist, sondern sich über 7—8 Jahre erstreckt. Dies wie auch die Unregelmäßigkeit bei Fichte bekräftigen die Annahme, daß die Buche in der fraglichen Zeit von 1857—77 einer starken Unterdrückung ausgesetzt war und sich erst dann wieder erholte, als auf dem Wege der Durchforstung stärker in den Bestand eingegriffen wurde. Das Mitwirken von klimatischen Einflüssen soll aber damit nicht ganz außer Zweifel gestellt werden.

III. Ringbreiten.

Die Stammwuchsmessung zeigt in den Abständen der Einzellinien bereits die große Gleichmäßigkeit in Zuwachs und Ringbildung. Um noch einen weiteren Einblick in die Ringbreite zu erhalten, wurden von allen weißkernigen Proben, die auch zur Ermittlung des Raumgewichts dienten, die mittleren Ringbreiten durch Teilung der Gesamtbreite durch die Zahl der Jahrringe bestimmt. Aus diesen Zahlen ließ sich eine Häufigkeitskurve für die Ringbreiten aufstellen, die ein regelmäßiges Bild ergibt. Der häufigste Wert liegt bei 1,0 mm (Abb. 4).

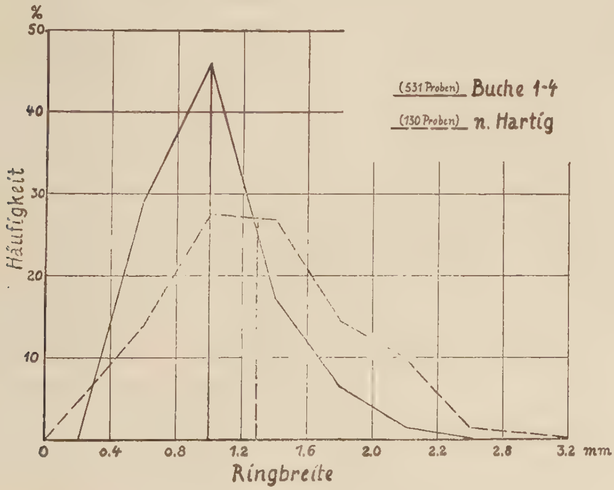


Abb. 4

Aus der beigefügten Häufigkeitskurve für Flachlandsbuche, die aus Angaben R. Hartigs (1888) errechnet wurde, ersieht man, daß die Ringbreiten der Gebirgsbuche lange nicht so starke Streuung aufweisen, wie es bei der Flachlandsbuche der Fall ist. Vergleicht man diese Ergebnisse z. B. mit den Ringbreiten der Fichte, wie sie Trendelenburg für Flachland (1937) und Gebirge (1932) ermittelt hat, so ergibt sich für die Flachlandsfichte eine sehr hohe Streuung von 0,4—5,3 mm, für die Gebirgsfichte eine entsprechend geringere Streuung von 0,7—3,8 mm, wobei zu berücksichtigen ist, daß diese als Mittelwerte aus der von Trendelenburg angeführten Abbildung 34 (1932) entnommen sind. Die tatsächliche Streuung dürfte etwas größer sein, doch ist auch hier die viel gleichmäßigere Jahrringbildung im Gebirge deutlich wahrzunehmen. Kurz zusammengefaßt ergeben sich folgende Streuungen:

	Ringbreite	Proben	Mittel
Buche 1	0,3—2,1 mm	128	—
„ 2	0,5—2,2 mm	131	—
„ 3	0,4—1,6 mm	142	—
„ 4	0,4—1,7 mm	130	—
Buche 1—4	0,3—2,2 mm	531	1,0 mm
„ nach Hartig . . .	0,1—3,0 mm	130	1,3 mm
Fichte nach Trendelenburg			
Flachland	0,4—5,3 mm	490	—
Gebirge	0,7—3,8 mm	111	—

D. Holzeigenschaften.

I. Raumgewicht und Raumdichtezahl.

1. Verfahren der Entnahme und Ausformung der Probekörper.

a) Bisher angewandte Verfahren.

R. Hartig (1882, 1883) teilte den Probestamm in verschiedene Sektionen, in deren Mitte er eine Probescheibe entnahm. Aus diesen Scheiben wurden in der N- und S-Richtung breite Keile ausgeformt, bei denen das Holz der verschiedenen Altersperioden im gleichen Verhältnis vertreten ist wie im ganzen Stammteil. Die so gewonnenen Keile wurden derart aufgeteilt, daß jedes Stück eine Periode von 30 Jahren enthielt.

Schwappach (1897, 1898) zerlegte den Probestamm ebenfalls in Sektionen und entnahm aus deren Mitte die Probescheiben, deren Aufteilung nach dem Muster von R. Hartig erfolgte. Wegen gleichzeitiger Ausformung von Druckprobekörpern konnte keine bestimmte Himmelsrichtung beibehalten werden.

Langenkamp (1931) entnahm dem Probestamm alle 2 m eine 5 cm dicke Scheibe und benutzte zur Ausformung der Probekörper das Verfahren R. Hartigs. Er achtete besonders darauf, daß die Verteilung des Splint- und Reifholzes des Keiles gleich der Verteilung der ganzen Stammscheibe ist.

Schleicher (1935) ging von der Annahme aus, daß sich die von Langenkamp festgestellte strang- und nesterförmige Verteilung schweren Holzes in mehr oder weniger großen Abschnitten ausgleichen müsse und das Raumgewicht eines so ausgeglichenen Abschnittes auch das durchschnittliche Raumgewicht sei. Der auf 18 m Länge ausgehaltene Probestamm wurde daher in 2-m-Sektionen aufgeteilt, von denen jede in 21 Scheiben von 1— 32 cm Dicke zerlegt wurde. Die Scheiben wurden in Keile aufgeteilt und diese, wenn sie zu stark waren, des schnelleren Trocknens wegen unterteilt.

b) Jetzt angewandtes Verfahren.

Die Untersuchungsmethode, deren ich mich bei vorliegender Arbeit bediente, entspricht dem Verfahren von R. Trendelenburg (1937). Wie ich schon ausgeführt habe, wurde dem Probe-

stamm je eine 10 cm starke Scheibe entnommen, und zwar im unteren Stammteil mit 1 m Abstand, von 4 m aufwärts in 2 m Abstand. Aus jeder dieser Stammscheiben wurden Holzklötzchen von 2 cm Seitenlänge und 3 cm Höhe derart ausgeformt, wie es die Abbildung 5 zeigt.

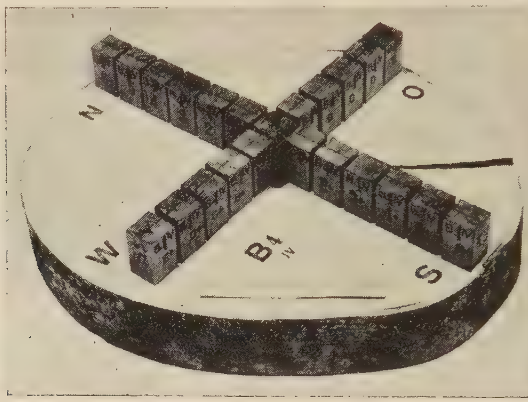


Abb. 5

Die Klötzchen wurden vom Mark beginnend in der N-Richtung mit 1, 2, 3, ..., in der S-Richtung mit 1', 2', 3', ..., in der O-Richtung mit a, b, c . . . . und in der W-Richtung mit a', b', c' . . . . bezeichnet. Jede Probe wurde außerdem noch mit der arabischen Ziffer des Probestammes und der römischen Ziffer der Scheibe versehen, wodurch sich auch späterhin jederzeit die Lage jedes einzelnen Holzklötzchens im Stamm genau feststellen ließ.

Die Volumenbestimmung durch Seitenmessung der Probekörper erfolgte mit einer Genauigkeit von $^1/_{10}$ mm in frischem und gedarrten Zustand. Das Darrgewicht wurde mittels einer Sartorius-Präzisionsschnellwaage ermittelt (Genauigkeit $^1/_{100}$ g).

Durch sorgfältige Ausscheidung aller Probekörper, die durch Einlagerung von Aesten, Astnähe, Risse, vorhandenes Zugholz oder sonstiger fehlerhafter oder anormaler Eigenschaften in irgendeiner Hinsicht die Genauigkeit beeinträchtigen konnten, gelang es ein verhältnismäßig genaues Gesamtbild zu erhalten.

Zu dem kleinen, prismatischen Probekörper war aus verschiedenen Gründen gegriffen worden. Die Ausformung mit Band- und Kreissäge, das Behobeln, Schleifen usw. kann in Fließarbeit

vorgenommen werden. Durch Seitenmessung der sorgfältig zugerichteten Proben wird das Volumen im Darrzustand bestimmt und die Anwendung von Umhüllungsstoffen bei Eintauchverfahren vermieden.

Aus den Messungen der Seitenflächen ergibt sich gleich das Schwindmaß in den verschiedenen Richtungen. An den kleinen Proben läßt sich ferner der Zusammenhang zwischen Raumgewicht und Ringbreite ermitteln.

Schließlich schien es auch wichtig, die Buche nach dem gleichen Verfahren zu untersuchen, das an der Holzforschungsstelle bereits für zahlreiche andere Holzarten angewendet worden war.

Hartig hatte hauptsächlich deshalb den Keil gewählt, weil dieser das Holz des inneren, mittleren und äußeren Stammteiles in dem Verhältnis enthält, in dem es auch im Stamm vorkommt. Bei dem beschriebenen Verfahren ist dies anders; hier muß aus der Stammanalyse der Raumanteil der einzelnen Gewichtszonen ermittelt werden, um das mittlere Gewicht eines Stammes berechnen zu können. Wie Trendelenburg (1937) auch an Lärche zeigte, ist das so ermittelte Gewicht nicht wesentlich von dem Mittelwert der Häufigkeitskurve verschieden.

Wie die Ergebnisse dieser Arbeit beweisen werden, genügt das Holzprisma als Probekörper vollständig zur Ermittlung sowohl des durchschnittlichen Raumgewichtes als auch für dessen Verlauf im Stamm von unten nach oben und von innen nach außen. Die sehr erleichterte Ausscheidung von Fehlerstellen im Holz ist ein weiterer Vorteil des kleinen Holzprismas.

2. Raumgewicht oder Raumdichtezahl?

Früheren Untersuchungen von R. Hartig (1882, 1883), Schwappach (1897, 1898) u. a. lag meist das Raumgewicht (r_0) zugrunde, welches das Verhältnis des Darrgewichtes zum Darrvolumen angibt. Seltener rechnete man mit dem Verhältnis des Darrgewichtes zum Frischvolumen, in vorliegender Arbeit Raumdichtezahl (R) genannt.

Es entstand nun die Frage, welche dieser beiden Rechnungsgrößen für die Untersuchungen besser geeignet sei. Die Gründe, die mich bestimmten, die Raumdichtezahl neben dem Raumgewicht zu wählen, sind kurz folgende:

Die Fehlermöglichkeit bei der Raumdichtezahl ist bedeutend geringer als bei dem Raumgewicht, da die Schwindung selbst innerhalb ein und desselben Probekörpers verschieden stark und

verschieden gerichtet sein kann. Das Schwindmaß hängt außerdem immer auch von der Art und Geschwindigkeit der Trocknung ab. Man beachte in Abbildung 10 die bedeutend größere Gewichtsschwankung bei dem Raumgewicht gegenüber der zusammengedrängten, steilen Kurve der Raumdichtezahl.

Bei der heute stark im Vordergrund stehenden chemischen Verwendung des Holzes gestattet die Raumdichtezahl die im Wald jeweils anfallende tatsächliche Holzsubstanz durch einfache Multiplikation der Derbholzmasse mit der durchschnittlichen Raumdichtezahl sofort zu bestimmen.

Die Raumdichtezahl bietet ferner eine Vergleichsmöglichkeit mit den neueren Untersuchungen anderer Länder, vor allem England und die Vereinigten Staaten von Nordamerika. Die Holzforschung dieser beiden genannten Länder bedient sich vorwiegend der Raumdichtezahl. (Dort specific gravity oven dry weight, green volume genannt.) Aus diesen Gründen sah ich mich veranlaßt, auch in vorliegender Arbeit der Raumdichtezahl den Vorzug zu geben. Wenn auch die Werte für das Raumgewicht mit angegeben sind, so geschieht dies, um die Ergebnisse mit früheren Untersuchungen vergleichen zu können.

Aber noch eine andere Möglichkeit besteht, frühere sich auf das Raumgewicht beziehende Arbeiten mit neuen sich der Raumdichtezahl bedienenden Arbeiten zu vergleichen. Ist das Raumgewicht bekannt, so läßt sich die Raumdichtezahl nach ebenfalls bekannter durchschnittlicher Schwindung durch folgende Formel berechnen: Raumgewicht = r_0; Raumdichtezahl = R; Schwindung = α_v

$$R = \frac{r_0 (100 - \alpha_v)}{100},$$

umgekehrt auch r_0 durch die Formel

$$r_0 = \frac{R \cdot 100}{100 - \alpha_v}$$

leicht berechnen, wenn die Raumdichtezahl und die durchschnittliche Schwindung bekannt ist. Die Schwindung selbst errechnet sich nach folgender Formel:

$$\alpha_v = \frac{r_0 - R}{r_0} \cdot 100.$$

außerdem natürlich aus dem Unterschied der Abmessungen des Probekörpers im frischen und gedarrten Zustand. (S. S. 42.)

3. Ergebnisse.

a) Verlauf der Raumdichtezahl und des Raumgewichtes im Stamm.

aa) In der Längsrichtung.

R. Hartig (1888) und später auch noch Schleicher (1935) fanden in ihren Untersuchungen, daß das Raumgewicht und damit auch die Raumdichtezahl in ihrem Verlauf in der Stammlängsrichtung zwar starken Schwankungen unterworfen ist, im ganzen gesehen aber doch von der Mitte nach oben hin langsam aber stetig abnimmt.

Schwappach (1897, 1898) kam zu folgendem Ergebnis: „Das Trockengewicht nimmt am Einzelstamm im Allgemeinen von unten nach oben bis in die Nähe des Kronenansatzes ab, hier beginnt alsdann wieder eine Zunahme des Trockengewichtes, welche unter Umständen sehr bedeutend ist.

Das Maximum des Raumgewichtes liegt nicht immer in den untersten Stammteilen, sondern häufig etwas höher, etwa bei 4 m, das geringste Raumgewicht ist etwa bei 2/3 der Totalhöhe zu finden.

Der Verlauf des Raumgewichtes ist keineswegs regelmäßig wie z. B. bei der Kiefer, sondern sprungweise mit verschiedenen Schwankungen."

Auch die Ergebnisse von Langenkamp (1931) passen in den Rahmen Schwappachs. Das Maximum liegt im untersten Stammstück. Auch hier sinkt das Gewicht langsam mit zunehmender Höhe und steigt vom Kronenansatz wieder leicht an.

Wie bereits angeführt, decken sich die Ergebnisse von Schleicher (1935) zum großen Teil mit denen von R. Hartig, doch gibt er für den Verlauf des Raumgewichtes bei Verwendung astfreier Proben eine anfangs rasche, dann eine weniger starke aber stetige Abnahme an.

Bei vorliegenden Untersuchungen über den Verlauf des Raumgewichtes im Hochgebirgsstamm (Abb. 6) fällt folgendes auf: der Verlauf der Raumgewichtsabnahme bezw. -zunahme in der Längsrichtung ist bei den 4 Probestämmen zwar nicht völlig gleich, aber doch sehr ähnlich. In dem unteren 2 m langen Abschnitt ist eine starke Abnahme des Raumgewichtes mit zunehmender Höhe zu verzeichnen. Dann bleibt bis auf geringfügige Schwankungen das Raumgewicht bis zu einer Höhe von etwa 13 m nahezu gleich, um von da wieder langsam gegen den Gipfel zuzunehmen.

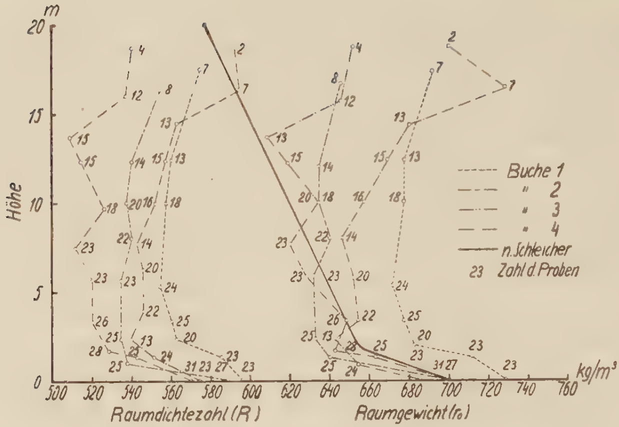


Abb. 6

Man erkennt deutlich aus dieser Abbildung, daß die Reihenfolge der Stämme nach dem Gewicht sowohl bei der Raumdichtezahl wie auch bei dem Raumgewicht gleich ist. Am leichtesten ist Stamm 3, dann folgt 2 und 4 und endlich als schwerster Stamm 1.

Bemerkenswert ist noch, daß im Gegensatz zu dem Verlauf des Raumgewichtes sich die Kurven für die Raumdichtezahl im mittleren Stammstück nicht überschneiden, sondern bedeutend ausgeglichener und gradliniger verlaufen.

Im Einzelnen ergaben sich folgende Werte:

Scheibe	Buche 1		Buche 2		Buche 3		Buche 4	
	R	r_0	R	r_0	R	r_0	R	r_0
I	596	728	587	701	571	697	573	685
II	583	712	537	639	542	661	550	656
III	564	683	534	632	529	643	539	643
IV	560	679	—	—	519	647	545	653
VI	553	671	533	631	520	630	545	649
VIII	—	—	541	638	512	621	541	645
X	560	677	535	633	526	635	551	656
XII	561	677	539	632	514	617	559	669
VIV	—	—	—	—	508	609	565	678
XVI	—	—	553	645	537	646	594	710
XVII	574	690	—	—	—	—	—	—
XVIII	—	—	—	—	540	653	590	700

Zum Vergleich wurde in die Abbildung 6 die von Schleicher angegebene Kurve astfreier Proben für das Raumgewicht eingetragen. Diese Kurve verläuft im unteren Teil annähernd gleichsinnig mit den von mir gefundenen Kurven, weicht jedoch darüber hinaus von diesen ab, da nach ihr mit zunehmender Höhe das Raumgewicht gleichmäßig abnimmt, während es bei Buche 1—4 wieder ansteigt. Hierfür läßt sich noch kein Grund angeben; möglicherweise handelt es sich um eine standortsbedingte Verschiedenheit.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß, obwohl die Schwankungen der Probestämme untereinander groß sind und die Kurven in sich auch keinen stetigen Verlauf zeigen, die allgemeine Tendenz eines Absinkens und wieder Ansteigens der Raumdichtezahl sowie des Raumgewichtes mit zunehmender Stammhöhe deutlich wahrzunehmen ist.

bb) In der Querrichtung.

Untersuchungen über den Verlauf der Raumdichtezahl innerhalb einer Stammscheibe von innen nach außen stellte bereits Exner (1875) an. Ueber seine Ergebnisse berichtet er: „Die Bewegung des spez. Grüngewichtes vom Umfange gegen den Mittelpunkt des Baumes hin ist also zuerst ein unwesentliches Zunehmen und dann ein sehr merkbares Fallen, was mit dem von Nördlinger (1860) für das Trockengewicht ausgesprochenen Gesetze vollkommen übereinstimmt.“ Ein Ergebnis, zu dem auch Knuchel (1935) in mehrfachen Untersuchungen kam.

R. Hartig (1888) betont, daß das Raumgewicht vom Stamminnern nach außen hin abnehme, was durch den verschiedenartigen Bau des Holzes bezüglich Alter und Stammhöhe zu erklären sei. Die Himmelsrichtung ist dabei ohne Einfluß. Schwappach (1897, 1898) schließt sich dem vollständig an. Langenkamp (1931) berichtet: „Ueber die Stammscheibe unregelmäßig verteilt, liegen einzelne Zentren sehr hohen und sehr niederen Raumgewichtes. Von diesen Zentren sinkt bezw. steigt das Raumgewicht nach allen Seiten. Irgendeine Gesetzmäßigkeit in der Verteilung des leichten oder schweren Holzes in der Scheibe oder in dem Ansteigen des Raumgewichtes von einem Punkte schweren Holzes ist nicht zu erkennen.“

Die in der Abbildung 7 angegebenen Raumdichtezahlen stellen den Durchschnitt aus den 4 Haupthimmelsrichtungen dar. Die unregelmäßigen Schwankungen innerhalb der einzelnen Himmelsrichtungen konnten so weitgehend ausgeglichen werden.

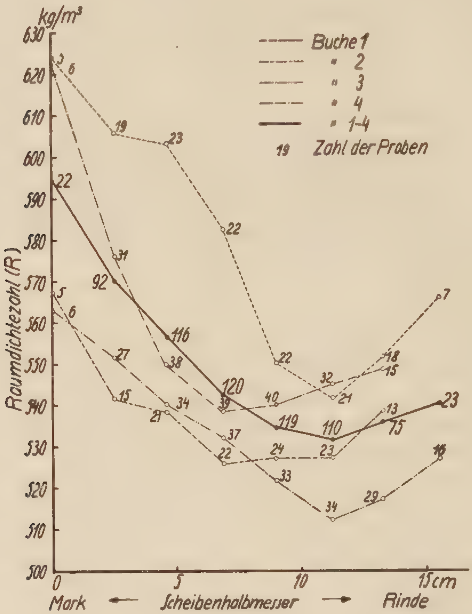


Abb. 7

Aus allen Kurven dieser Abbildung geht hervor, daß die Raumdichtezahl und somit auch das Raumgewicht vom Mark gegen die Rinde erst rasch abnimmt, um in den äußeren Zonen wieder anzusteigen.

Als Vergleich seien hier Werte von Schwappach (1897, 1898) angeführt, die zwar nicht die Raumdichtezahl je cm Durchmesser von innen nach außen angeben, sondern für einzelne Altersabschnitte ermittelt wurden, was ja im Grund das Gleiche ist.

In gleicher Weise gibt Hartig (1888) für die Ebene (Münchener Gegend) Werte für das Raumgewicht an.

Scheiben-halbmesser cm	Raumdichtezahl kg/m³							Raumgewicht g/cm³	
	Buche					Buche Schwappach		Buche Hartig	
	1	2	3	4	1—4	Alter Jahre		Alter Jahre	
0,5	625	568	563	624	595	15	637	10	0,800
2,2	607	542	551	576	570	45	589	30	0,745
4,4	604	539	540	551	556	75	587	50	0,714
6,6	582	526	532	539	542	105	581	70	0,691
8,8	551	527	521	540	534	135	559	90	0,669
11.0	542	527	514	545	531	165	532	110	0,649
13,2	552	539	518	549	536	195	525	130	0,638
15,4	566	—	528	—	540	—	—	—	—

Bei den umfangreichen Untersuchungen von Hartig und Schwappach nehmen R bezw. r_0 demnach stetig von innen und außen ab, was als Normalfall angesehen werden kann. In den Ergebnissen Langenkamps (1931) besteht trotz Fehlens der Regelmäßigkeit eine gewisse Uebereinstimmung mit den von mir angestellten Untersuchungen, da auch er im großen Ganzen eine Abnahme und folgende leichte Zunahme des Gewichts vom Mark gegen die Rinde feststellte.

Die auffallende Zunahme des Raumgewichtes und der Raumdichtezahl bei den Gebirgsbuchen ist sicher damit in Zusammenhang zu bringen, daß der Zuwachs in den äußeren Teilen wieder zunimmt. Es handelt sich um den „Lichtungszuwachs", der trotz hohen Alters eine Gewichtssteigerung mit sich brachte, wie dies auch schon Hartig (1888) feststellte. Wichtig ist insbesondere noch die Tatsache, daß die Gewichtszunahme noch in 10 m Höhe (Scheibe X) deutlich ist.

Der bei Buche 1—4 direkt gesetzmäßig erscheinende Verlauf der Kurven ist noch insofern bemerkenswert, als wiederum die Reihenfolge der Stämme die gleiche wie bei dem Verlauf des Gewichtes in der Längsrichtung ist. (Stamm 3 und 2, 4, 1.) (Abb. 7.)

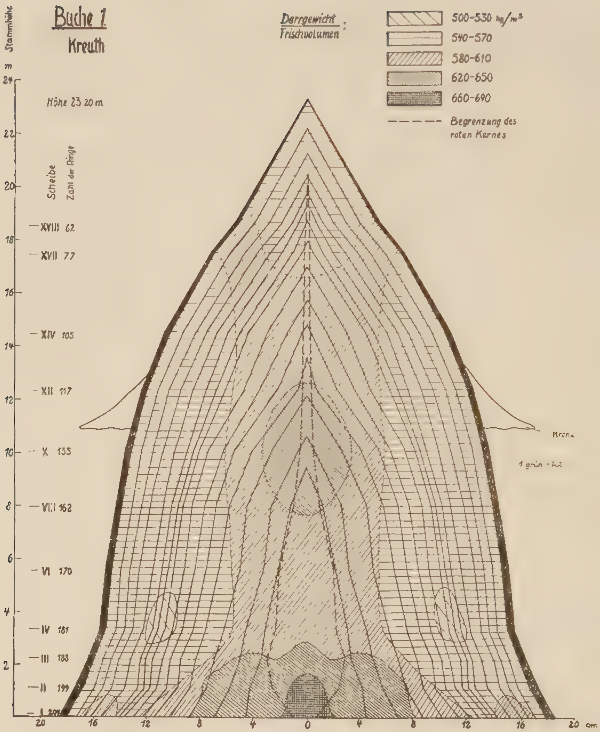


Abb. 8

In der Abbildung 8 ist die zonenweise Verteilung der Raumdichtezahl im Stamm dargestellt. Man sieht, daß die Zonen schwersten Holzes in der Nähe des Stockabschnittes und bis etwa 2 m Höhe liegen, sowie in der Nähe des heutigen Kronenansatzes je in den inneren Teilen, die Zonen leichten Holzes dagegen in den anderen Stammteilen liegen.

In Kronenhöhe ist wieder ein Gebiet schweren Holzes zu verzeichnen. Interessant ist, daß die schwerste Zone im Kern des oberen Stammteiles meist 1 m unter dem Kronenansatz liegt.

b) Raumdichtezahl und Ringbreite.

Bei den Untersuchungen über den Verlauf des Raumgewichtes und der Raumdichtezahl im Stamm sowie in den einzelnen Stamm=

scheiben tauchte wiederholt die Frage auf, ob und wie weit das Raumgewicht bezw. die Raumdichtezahl von der Ringbreite abhängt.

R. Hartig (1882, 1883), der die Beziehung der Ringbreite zur Holzsubstanz eingehend untersuchte, kam zu folgendem Ergebnis: „Auch bei der Rotbuche nimmt die Substanz mit der Jahrringbreite zu. Bei Jahrringen von 0,5—1,0 mm enthalten 100 cm³ Splint 57,6 gr, bei Holz von durchschnittlich 2,6—3,0 mm Ringbreite dagegen 62,4 gr.“ Und an anderer Stelle: „Das spez. Trockengewicht nimmt deshalb wie der Substanzgehalt im Frischvolumen mit der Ringbreite zu und zwar im Splint von 67,8 gr auf 76,1 gr.“

Die unter Berücksichtigung der Probenzahl durch die zerstreut liegenden Punkte gezogene Durchschnittskurve für Buche 1 (Abb. 9) zeigt bei gradlinigem Verlauf ein stetiges Ansteigen der Raumdichtezahl mit zunehmender Ringbreite und bestätigt somit die Feststellung R. Hartigs voll und ganz. Leider hat Hartig in seinen

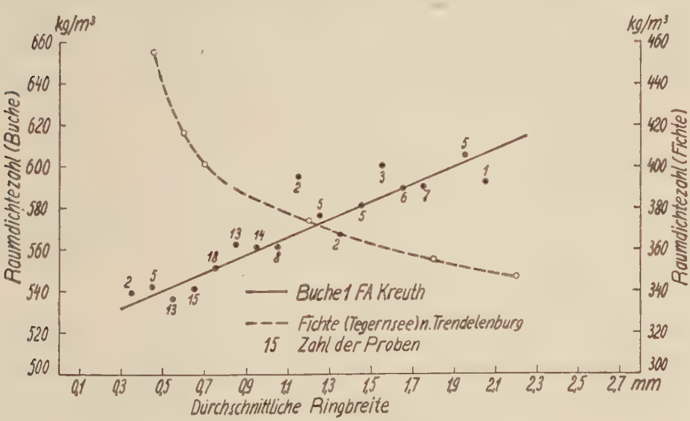


Abb. 9

Untersuchungen sich des Raumgewichtes bedient, sodaß es allein möglich ist, seine Ergebnisse mit vorliegender Arbeit bezüglich des Raumgewichtes (r_0) zu vergleichen. (Tabelle 2).

Zum Vergleich mit anderen Holzarten wurde in Abbildung 9 die gleiche Beziehung zwischen Raumdichtezahl und Ringbreite für Fichtenholz aus Tegernsee nach Trendelenburg (1937) dargestellt. Die Werte für die Raumdichtezahl bei der Fichte sind

Tabelle 2

Ringbreite mm	Raumgewicht in g/cm³			
	Buche 1—4	Zahl der Proben	nach Hartig	Zahl der Proben
0,6—0,7	0,629	55	0,664	2
0,7—0,8	0,636	65	0,677	6
0,8—0,9	0,642	73	0,672	4
0,9—1,0	0,647	79	0,688	9
1,0—1,1	0,653	50	0,673	17
1,1—1,2	0,663	41	—	—
1,2—1,3	0,653	28	0,696	12
1,3—1,4	0,650	25	0,678	8
1,4—1,5	0,662	19	0,686	11
1,5—1,6	0,678	15	0,690	14
1,6—1,7	0,693	15	0,673	9
1,7—1,8	0,697	12	0,686	11
1,8—1,9	0,634	2	0,688	8
1,9—2,0	0,728	6	0,697	4
2,0—2,1	0,688	2	0,700	7
2,1—2,2	0,650	2	0,683	12
2,2—2,3	—	—	0,698	5
2,3—2,4	—	—	0,709	4
2,4—2,5	—	—	0,713	3
2,5—2,6	—	—	0,741	1

aus dem angegebenen Raumgewicht nach Umrechnung mit der später zu besprechenden Formel

$$a_v = f \cdot R$$

ermittelt worden, wobei für den Faktor f ein Wert von 32 gewählt wurde. (Bei einer Raumdichtezahl von rund 380 ergibt sich ein Schwindmaß a_v von 12%, r_0 ist dann 0,430.) Die durch die Freistellung erhöhte Erzeugungskraft der Krone steigerte nicht nur die Ringbreiten, sondern auch das Holzgewicht.

Interessant ist es nun, daß die Hochgebirgsbuche sich umgekehrt wie die Fichte verhält. Freilich spielt in dem Verlauf der Kurve die Schwindung noch eine gewisse Rolle, wie in einem nachstehenden Abschnitt noch nachgewiesen wird. Die Buche der Hochlage zeigt dabei ein gleiches Verhalten wie die Flachlandsbuche (vergleiche Tabelle 2), wenn auch mit geringeren Raumgewichtswerten.

Bei Kiefer und Lärche ist nach Untersuchungen von Trendelenburg (1937) die Kurve nicht gleichgerichtet, sondern weist in der Mitte ein Maximum auf, von dem aus sie sowohl mit abnehmender als auch zunehmender Ringbreite abfällt. Ob dies bei der Buche nicht auch vielleicht der Fall ist, konnte nicht festgestellt werden, da Jahrringe über 2,2 mm Breite fehlten. Es ist aber immerhin denkbar, daß auch bei der Hochgebirgsbuche sich der Kurvenlauf ähnlich dem der Kiefer oder Lärche gestaltet.

Die Tatsache der steigenden Raumdichtezahl mit zunehmender Ringbreite erhellt seinerseits nun auch das in vorigem Abschnitt nachgewiesene und in der Abbildung 7 gezeigte Ansteigen des Gewichtes in den äußeren Jahrringzonen. Die Entnahme der hiebsreifen Fichten des Bestandes in den letzten 10—15 Jahren hatte bei allen nun mehr und mehr freigestellten vier Probestämmen in gleicher Weise ein Breiterwerden der Jahrringe zur Folge.

Das Gewicht bei gleicher Ringbreite ist bei den 4 Probestämmen absolut nicht gleich. Auch hier ist wieder die gleiche Reihenfolge der Probestämme wie in den vorhergegangenen Abschnitten (3—2—4—1) festzustellen. Auffallend ist die verhältnismäßig geringe Gewichtssteigerung der Buche 2 mit zunehmender Ringbreite.

c) Häufigkeitskurven des Raumgewichtes und der Raumdichtezahl.

Aus den errechneten Werten für Raumgewicht und Raumdichtezahl wurde die Häufigkeitskurve für jeden einzelnen Probestamm sowie für deren Durchschnitt aufgestellt. Die Häufigkeit wurde bei Raumdichtezahl und Raumgewicht in Gewichtsstufen von je 0,02 g/cm³ ermittelt und der Anteil der Proben an diesen Stufen in Hundertteilen berechnet. Abbildung 10 zeigt die Häufigkeitskurve für Raumdichtezahl und Raumgewicht, die aus dem Durchschnitt der 4 Probestämme erhalten wurde, jeweils mit und ohne Scheibe I.

Aus dieser Abbildung geht deutlich hervor, daß die Streuung der Raumdichtezahl bedeutend geringer ist wie bei dem Raumgewicht, worauf bereits hingewiesen wurde.

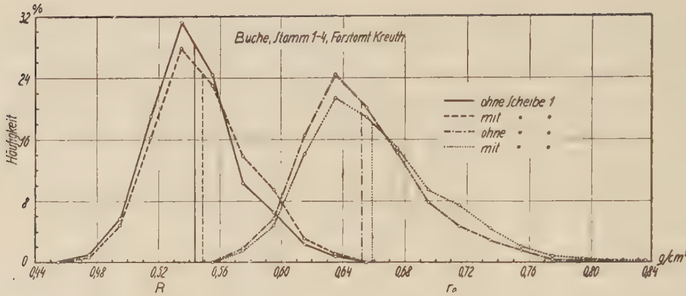


Abb. 10

In Tabelle 3 sind die einzelnen Werte für Raumdichtezahl, Raumgewicht und deren Schwankungen für die vier untersuchten Probestämme angegeben. Es ist jeweils auch der Wert ohne Scheibe I angeführt.

Tabelle 3

Probestamm	Proben-zahl	Raumdichtezahl kg/m³ Schwankung	Mittel	Raumgewicht g/cm³ Schwankung	Mittel
Buche 1 mit I	153	510—640	570	0,61—82	0,70
ohne I	130	510—640	564	0,61—80	0,69
Buche 2 mit I	164	490—620	545	0,58—75	0,65
ohne I	137	490—580	537	0,58—69	0,64
Buche 3 mit I	218	470—610	532	0,57—77	0,65
ohne I	187	470—600	526	0,57—74	0,64
Buche 4 mit I	169	510—630	554	0,61—75	0,66
ohne I	146	510—630	551	0,61—75	0,66
Buche 1—4 mit I	704	470—640	549	0,57—82	0,66
ohne I	600	470—640	543	0,57—80	0,65

Abbildung 11 zeigt die Häufigkeitskurve der Rotbuche für das Raumgewicht mit einer Vergleichskurve für Flachlandbuche, zusammengestellt von Trendelenburg (1937) nach Ergebnissen von R. Hartig, Schwappach, Janka u. a., die aus nahezu 1800 Proben gebildet wurde und einen Mittelwert von 0,671 g/cm³ besitzt. Tatsache ist also, daß das Holz der Gebirgsbuche leichter ist als das der Flachlandsbuche, was sich vor allem auf die in einem späteren Abschnitt behandelten Festigkeitseigenschaften

auswirkt. Außerdem geht aus der Abbildung 11 hervor, daß die Streuung des Gewichtes bei der Buche des Gebirges bedeutend kleiner, das Holz somit gleichmäßiger gebaut ist. Wenn auch die Anzahl der Proben bei der Gebirgsbuche nicht so groß ist wie in der Zusammenstellung von Trendelenburg für die Buche

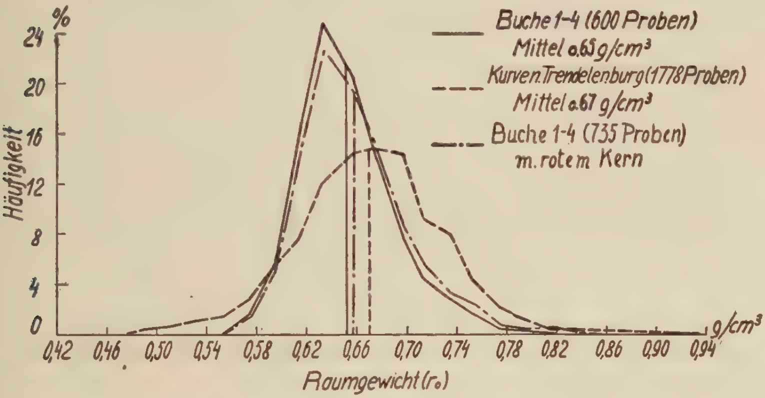


Abb. 11

des Flachlandes, so zeigen doch meine Stämme mit Ausnahme von Stamm 1 deutlich niedrigeres Raumgewicht. Der Grund hierfür liegt in der durch das Hochgebirgsklima bedingten Bildung enger Jahrringe. Wieder ist die Reihenfolge der Probestämme nach Gewicht 3—2—4—1.

Die Streuungen des Raumgewichtes sind bei den einzelnen Proben bedeutend größer als bei den Stämmen untereinander; trotzdem liegen diese aber vollkommen im Rahmen der von Schwappach angegebenen Werte.

	Raumgewicht (r_0) g/cm³ Streuung	Mittel	Probenzahl
Streuung der Proben			
Buche 1—4	0,57—80	0,65	603
nach Schwappach	0,56—75	0,67	655
Streuung der Stämme			
Buche 1—4	0,64—69	0,66	4
nach Schwappach	0,59—73	0,64	34

Zum Vergleich für die gefundenen Werte mit anderen Flachlands- und Gebirgsbuchen seien noch kurz die Ergebnisse von R. Hartig (1888) und Schwappach (1897, 1898) angeführt.

	Alter Jahre	Raumgewicht (r_0)
nach Hartig 1150 m Höhe	175	0,656
„ „ 1150 m „	145	0,662
„ „ 550 m „	150	0,663
„ „ Pfalz	120	0,668
„ „ Spessart	120	0,662
nach Schwappach Bayrische Hochebene	120	0,685
„ „ Nordwest-Deutschland	120	0,656
Probestamm 1—4 (Kreuth)	182	0,650

Man sieht, daß zwischen Buche 1—4 und den Angaben von R. Hartig und Schwappach nur ein verhältnismäßig geringer Gewichtsunterschied vorhanden ist. Im Durchschnitt etwa 2,3%. Dies ist insofern auffallend, als z. B. bei Fichte und Kiefer weit größere Gewichtsunterschiede aufzutreten pflegen.

Raumgewicht (r_0) g/cm³		
Fichte[1]	Kiefer[1]	Buche
300 m Höhe 0,45	200 m Höhe 0,50	Hartig 0,665
1200 m „ 0,37	670 m Höhe 0,45	Kreuth 0,650
Unterschied 21,6 %	Unterschied 11,1 %	Unterschied 2,3 %

Die Buche bildet bedeutend schwereres Holz als Kiefer und Fichte und weist auch lange nicht so starke Gewichtsunterschiede bei verschiedenem Standort auf wie beispielsweise die oben angeführte Fichte. Dies ist von besonderer Bedeutung für die Rohstoffverwendung, die bei Buche daher bei allen Standorten ungefähr mit gleichen Holzgewichten rechnen kann.

Um festzustellen, ob und wie stark eine Veränderung der Raumdichtezahl und des Raumgewichtes durch den roten Kern hervor-

[1]) nach Trendelenburg (1937).

gerufen wird, wurden an allen Proben, die bis zu 80% rotkerniges Holz enthielten, die Gewichte ermittelt.

Das Ergebnis meiner Untersuchungen bestätigt die Feststellung Schwappach's (1897, 1898), daß das Raumgewicht des roten Kernes für den ganzen Stamm „größer als in den noch unversehrten weißen Holzschichten" ist. „Im Einzelnen sind bald die Zahlen des roten Kernes, bald jene des „Splintholzes" höher." Auch andere Untersuchungen in früherer Zeit hatten ein gleiches Ergebnis.

In Tabelle 4 ist zum Vergleich die Raumdichtezahl sowie das Raumgewicht getrennt nach Probestämmen und Stammhöhen angegeben. Die Raumdichtezahl des roten Kernes ist in jedem Fall bedeutend höher als die des weißkernigen Holzes. Mit einer Ausnahme (Buche 2, Scheibe VIII), die auf die Fehlerquelle ungleichmäßigen Schwindens zurückzuführen sein dürfte, ist auch das Raumgewicht des roten Kernes gegenüber weißkernigem Holz bedeutend höher.

Tabelle 4

Scheibe	Holz	Buche 1 kg/m³ R	Buche 1 kg/m³ r_0	Buche 2 kg/m³ R	Buche 2 kg/m³ r_0	Buche 3 kg/m³ R	Buche 3 kg/m³ r_0	Buche 4 kg/m³ R	Buche 4 kg/m³ r_0
II	weißkernig	583	695	539	639	543	661	550	656
	rotkernig	654	809	560	665	589	724	583	707
III	weißkernig	564	683	534	633	529	639	538	643
	rotkernig	626	761	553	657	544	668	599	722
IV	weißkernig	560	679	—	—	532	647	545	653
	rotkernig	583	700	—	—	550	666	578	689
VI	weißkernig	553	670	532	631	520	630	545	649
	rotkernig	579	703	547	649	530	644	579	698
VIII	weißkernig	—	—	527	638	512	621	540	645
	rotkernig	—	—	544	637	534	643	585	700
X	weißkernig	560	677	535	633	525	635	551	656
	rotkernig	618	758	549	649	531	646	593	705
Durchschn.	weißkernig	566	684	537	635	526	637	551	659
	rotkernig	614	748	550	651	546	664	586	705

Durch die verhältnismäßig große Anzahl von Proben, die bei Buche 1 32, bei Buche 2 39, bei Buche 3 59, und bei Buche 4 30 betrug, ergab sich ein bedeutend klareres Bild als z. B. bei den Untersuchungen von Schwappach. Die soeben erwähnte Ungenauigkeit durch verschiedenartiges Schwinden wird viel zu den stark streuenden Werten von Schwappach beigetragen haben. Nur dadurch war es möglich, daß bei ihm die Gewichte des weißkernigen Holzes die des roten Kernes häufig übertrafen.

Der Einfluß des roten Kernes auf das durchschnittliche Gewicht des ganzen Stammes oder aller 4 Probestämme ist erkennbar. Dies geht schon aus der Häufigkeitskurve (Abb. 11) wie auch aus folgenden Zahlen hervor:

	Raumdichtezahl kg/m³	Raumgewicht g/cm³
weißkerniges Holz	543	0,652
Gesamtdurchschnittsgewicht mit rotem Kern von Buche 1—4	548	0,658

d) Mengen- und Massenzuwachs.

Der Verlauf des laufenden und durchschnittlichen Zuwachses wurde bereits früher besprochen und in der Abbildung 3 wiedergegeben. Es wurde besonders auf jene klimatisch bedingte Zuwachsstockung in den Jahren 1857—77 hingewiesen. Es war nun wichtig zu wissen, ob der einzelne Stamm diesen Verlust an Zuwachs nicht vielleicht durch höheres Raumgewicht, also vermehrte Holzsubstanzerzeugung ausgeglichen hat. Zu diesem Zweck ist auf der genannten Abbildung 3 auch der Verlauf des Raumgewichtes in den einzelnen Jahren aufgezeigt.

Das Ergebnis ist bemerkenswert: die Zuwachsstockung brachte auch gleichzeitig eine Verminderung des Raumgewichtes mit sich. Dieses erklärt sich mit der in dieser Zone abnehmenden Ringbreite, die, wie wir schon gesehen haben, auch ein Sinken des Gewichtes zur Folge hat.

Um einen Begriff von der in den einzelnen Perioden jährlich erzeugten Holzmasse (kg) zu geben, wurde die Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5

Jahr	Bu 1	Bu 2	Bu 3	Bu 4	nach Hartig Alter	nach Hartig Bu I	nach Hartig Bu VI	n. Trendelenburg Alter	n. Trendelenburg Lä 1
1797—1817	2,41	—	2,00	0,55	0—30	—	—	0—20	—
1817—1837	3,47	0,85	2,54	1,18	30—60	—	—	20—40	4,50
1837—1857	3,27	1,42	3,20	1,69	60—90	8,84	3,33	40—60	8,80
1857—1877	2,79	1,71	3,12	1,97	90—120	9,02	2,02	60—80	9,60
1877—1897	3,97	3,02	4,21	3,44	120—140	9,97	1,77	80—100	9,40
1897—1917	5,33	7,28	5,08	5,46	140—150	14,56	1,18	100—120	7,40
1917—1937	6,52	9,34	7,73	7,69	—	—	—	120—140	6,90
jährlicher Durchschnitt	3,0	3,3	3,1	2,9		10,6	2,8		6,1

Auffallend ist, daß sich der jährliche Massenzuwachs der Einzelstämme noch in steiler Aufwärtsbewegung befindet; hierbei werden je Jahr und Stamm zwischen 6,5 und 9,3 kg Holz erzeugt. Der Jahresdurchschnitt ist jedoch wegen der langen Wuchsstockungen viel kleiner.

Ein gleiches Verhalten des Massenzuwachses, wie wir es bei der Hochgebirgsbuche sahen, stellte Jaroschenko bei der in den Wäldern Armeniens (Transkaukasien) heimischen Buche (fagus orientalis Lyps.) fest.

Die Ueberlegenheit der Gebirgslärche geht aus dieser Zusammenstellung klar hervor, doch ist gleichzeitig festzustellen, daß sie ihren Hauptzuwachs bereits im Alter von 60—80 Jahren gehabt hat. Trotzdem ist in einem Alter von 140 Jahren der Massenzuwachs noch recht bedeutend.

Die Fichte hatte auf gleichem Standort wie die untersuchten Buchen ihren Zuwachs bei 140 Jahren praktisch schon abgeschlossen, was in der Ebene ja schon früher der Fall ist. Da bei der Buche der eigentliche Massenzuwachs erst nach Freistellung in einem Alter von 120 Jahren und mehr erfolgte, so wäre auf diesem Standort zumindest eine weit höhere Umtriebszeit als für Fichte anzusetzen, wenn man auf einen größeren Massenzuwachs der Buche allein sieht. Man wird jedoch unter den gegebenen Verhältnissen die Buchen kaum noch länger als höchstens 20 Jahre stehen lassen können, wenn erst einmal der Fichtenhauptbestand abgetrieben und die Fläche bereits neu bepflanzt ist.

Ein weiteres Mittel, den Zuwachs der Buche zu heben, ist eine rechtzeitige kräftige Durchforstung zugunsten der Buche. Sie bildet das einzigste Mittel, Licht und vor allem Wärme der Buche zukommen zu lassen und damit wesentlich zu einer erheblichen Zuwachssteigerung und vor allem Vermeidung von Zuwachsstokkungen zu verhelfen. Es ist immerhin denkbar, daß eben dieser Mangel an Wärme das auffallend leichtere Gewicht der Stokkungsperiode verursacht hat.

Es wird jedoch immer von Fall zu Fall zu bedenken sein, ob nicht die größere Wertsleistung der Fichte der kostspieligen Pflege der Buche vorzuziehen ist zumal auf Standorten, auf denen die Fichte weit günstigere Lebensbedingungen findet. Einen Vorteil bietet die Buche jedoch unbedingt in ihrer großen Anpassungsfähigkeit, selbst extreme Standorte noch gut auszunutzen. Außerdem ist ja eine gerade und astreine Schaftform bei der in Kürze im Vordergrund stehenden stofflichen Verwendung ohne Bedeutung, worauf später noch hingewiesen wird.

II. Schwindung.

1. Schwindung und Raumdichtezahl.

Es ist schon viel über die Schwindung des Rotbuchenholzes geschrieben worden, jedoch wurde meist nur die Volumenschwindung des Holzes vom frischen in den lufttrockenen und von dem lufttrockenen in den absoluttrockenen Zustand untersucht und gemessen.

Nach R. Hartig (1882, 1883) tritt eine Volumenverminderung erst dann ein, wenn nach Verdunstung des in den Zellholräumen eingelagerten freien Wassers das zwischen den Mizellen gebundene Imbibitionswasser abgegeben wird. Dadurch rücken die Mizelle näher aneinander und verursachen eine Volumenverminderung. Bei verschiedenen in Deutschland heimischen Holzarten stellte R. Hartig mit der Verkernung eine Substanzanreicherung in den Mizellzwischenräumen fest, die anstelle des verdrängten Wassers ein Ansteigen des Holzgewichtes und eine Verminderung der Schwindung dadurch zur Folge hat, daß sich die Mizelle beim Trocknen durch die eingelagerte Verkernungssubstanz nicht mehr so eng aneinanderschließen können wie im Splint. „Beim Rotbuchenholze", so sagt R. Hartig, „findet eine solche Verkernung

nicht statt und es entspricht deshalb das Schwindeprozent bei altem und jungem Holze einfach dem spezifischen Trockengewicht."

Er gibt folgende Werte an:

Einem Trockengew. (r_0)	von 800 kg	entspr.	ein	Schwind %	von	21,0
"	"	" 750 kg	"	"	"	"	19,1
"	"	" 700 kg	"	"	"	"	17,6
"	"	" 650 kg	"	"	"	"	15,1

Schwappach (1897, 1898) glaubte sich R. Hartig's Ergebnissen nicht anschließen zu können, da seine aus großer Probenzahl gefundenen Werte sehr unregelmäßige Schwankungen aufwiesen. Nach seiner Ansicht hängt die Schwindung vielmehr mit dem Alter zusammen.

Zum Beweis dessen führte er folgende Zahlen an:

Altersperiode:	0—30	31—60	61—90	91—121	120—150
Schwindeproz.:	15,2	15,1	15,3	14,9	14,4

Seine gesamten Untersuchungen faßte er zum Schluß dahingehend zusammen, daß für die durchschnittliche Volumenschwindung des Buchenholzes ein Wert von 15% anzunehmen sei.

Die Untersuchungen Janka's (1915) lassen leider einen direkten Vergleich aus dem Grunde nicht zu, da er einerseits die Flächenschwindung, andererseits nicht die Gesamtschwindung als solche, sondern die Schwindungszahl berechnete. Aber auch bei ihm läßt sich eine Abhängigkeit der Schwindung von dem Gewicht erkennen: „Je schwerer das Holz ist, desto größer ist seine Schwindung."

Sehr eingehend untersuchte Mörath (1931) die Schwindungserscheinungen bei Buchenholz, und zwar in den 3 anatomischen Hauptrichtungen: in der Längsrichtung, in tangentialer und radialer Richtung. Genaue Werte für die gesamte Quellung bezw. Schwindung des Volumens gab er jedoch nicht an. „Die Quellungswerte des Gesamtvolumens schwanken zu stark, als daß man sie gut auf eine Kurve bringen könnte; doch kann man im Durchschnitt mit einer maximalen Quellung von 20 Proz. des Trockenvolumens rechnen."

Zur Ermittlung der Volumenschwindung bediente ich mich der für die einzelnen Klötzchen gefundenen Werte für Frisch- und

Darrvolumen. Die Schwindung wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Schwindung } \alpha_v = \frac{\text{Frischvolumen} - \text{Darrvolumen}}{\text{Frischvolumen}} \cdot 100$$

Die Schwindmaße der kleinen Probekörper schwanken in weiten Grenzen und anscheinend regellos. Ordnet man die Zahlen aber nach Gewichtsstufen von 10 zu 10 kg/m³ und berechnet die Mittelwerte, so ergibt sich ein viel klareres Bild. Nach diesem Verfahren wurden die Volumenschwindeprozente der Stammscheiben II—X aller 4 Probestämme ermittelt. Als Beispiel ist in der Abbildung 12 Probestamm 4 angeführt.

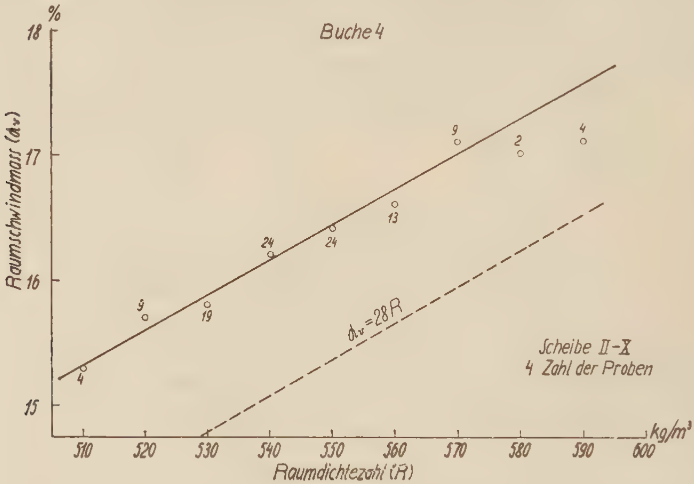


Abb. 12

Die oberhalb von Scheibe X und unterhalb von II liegenden Scheiben streuten in ihren Werten in sich derart, daß sie den an sich sehr deutlichen Verlauf der Kurve völlig unkenntlich machten. Der Einfluß der Krone sowie die Nähe eines Astes scheint sich hier also besonders stark bemerkbar zu machen. Die in der angeführten Abbildung 12 aus dem Rahmen fallenden 4 Punkte sind bei der hohen Gewichtsstufe von 580 und 590 kg/m³ mit der Nähe oder dem geringen Anteil des roten Kernes, bei den 2 untersten Gewichtsstufen mit dem Einfluß der Krone oder eines Astes zu erklären. Daß dies trotz der eingangs erwähnten gründlichen Ausscheidung aller äußerlich fehlerhaften Probekörper möglich ist,

stellte bereits Schleicher (1935) in seinen Untersuchungen über den Einfluß der Aeste auf den Verlauf des Raumgewichtes fest.

Obwohl nur eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Proben zur Verfügung stand, zeigt schon die in der Abbildung 12 als Beispiel angeführte Kurve eines Probestammes deutlich die auch für die Rotbuche geltende Gesetzmäßigkeit, daß mit steigender Raumdichtezahl und somit auch mit steigendem Raumgewicht eine Zunahme des Volumenschwindmaßes verknüpft ist. Dies ist also durchaus verhältnisgleich mit Angaben R. Hartig's (1882, 1883), wenn man berücksichtigt, daß vorliegende Buchen in ihrer Gesamtheit leichter sind als bei Hartig. Die Angaben von Schwappach (1897, 1898), die eingangs angeführt wurden, bilden meiner Ansicht nach keinen stichhaltigen Beweis seiner Theorie, daß Alter und Schwindung zusammenhängen. Der Unterschied in der Schwindung ist so gering, daß er durchaus in den Rahmen der allgemeinen Streuung fällt.

Als durchschnittliche Volumenschwindung fand ich für die Hochgebirgsbuche bei einer Streuung von 14—22% einen mittleren Wert von 16,8% bei einer Probenzahl von 473. Dieser Mittelwert entspricht ungefähr dem von den Amerikanern Markwardt und Wilson (1935) angegebenen Schwindeprozent von 16,3.

Die Volumenschwindung vom frischen zum zimmertrockenen Zustand wurde an Hand von 110 Proben ermittelt und mit 10,53% festgestellt. Der Feuchtigkeitsgehalt der Proben betrug durchschnittlich etwa 8%. Hieraus sieht man, daß das Buchenholz des Gebirges bei normalem Verwendungszweck in geschlossenen Räumen (als Möbel usw.) einer verhältnismäßig starken Schwindung von über 10% unterworfen ist. Demgegenüber schwindet Fichtenholz bis zum gleichen Feuchtigkeitsgehalt nur um etwa 7% (nach Kollmann (1936) berechnet).

Raumdichtezahl und Schwindmaß stehen in engem Zahlenverhältnis zueinander:

$$a_V = f \cdot R$$

Als Faktor f wurde von Markwardt und Wilson der Wert von 28 angegeben, wonach sich folgende Gleichung ergibt:

$$\text{Schwindung } (a_V) = 28 \cdot \text{Raumdichtezahl (R) in } \%$$

Nach Untersuchungen von Trendelenburg[1]) und den von

[1]) Aus dem Buch „Das Holz als Rohstoff", Lehmanns Verlag, München 1939.

mir gefundenen Ergebnissen ist der für die amerikanischen Buchen mit 28 angegebene Faktor entschieden zu klein, siehe Abbildung 12. Es ist vielmehr ein Faktor von 29,5—30 anzunehmen. Die Buche des Hochgebirges hat also im Verhältnis zu ihrem Gewicht ein hohes Volumenschwindmaß.

Zur Bestimmung der Volumenschwindung des roten Kernes standen im ganzen 137 Proben zur Verfügung. Der Untersuchungsgang wurde bereits an anderer Stelle geschildert. Es konnte zwar eine im allgemeinen größere Schwindung des rotkernigen Holzes gegenüber weißkernigem festgestellt werden, doch bewegen sich die einzelnen Werte durchaus in den Grenzen, die für weißkerniges Holz ermittelt wurden. Das Raumschwindmaß betrug bei den 4 Probestämmen:

	weißkernig	rotkernig
Buche 1	17,5 %	18,4 %
„ 2	15,6 %	15,6 %
„ 3	17,5 %	17,6 %
„ 4	16,3 %	17,0 %
Buche 1—4	16,5 %	17,2 %

Errechnet man nach der Formel $\alpha_V = f \cdot R$ aus den oben angegebenen Zahlen den Wert des Faktors f für weiß- und rotkerniges Holz, so erhält man das gleiche Verhältnis sowohl bei weißkernigem wie auch bei rotkernigem Holz.

weißkernig	rotkernig
$16{,}5 = f \cdot 543$	$17{,}2 = f \cdot 568$
$f = 30{,}4$	$f = 30{,}3$

Hierüber bestehen in der Praxis aber gelegentlich andere Aussagen.

2. Schwindung und Ringbreite.

Wie ich schon früher erwähnt habe, besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Raumdichtezahl und Schwindung wie auch zwischen Raumdichtezahl und Ringbreite. Da mit steigender Raumdichtezahl sowohl Schwindung wie auch Ringbreite zunimmt, liegt es auf der Hand, daß auch Ringbreite und Schwin-

dung in enger Beziehung zueinander stehen. Dies geht schon aus der Erklärung R. Hartig's (1882, 1883) über die Ursache der Schwindung hervor.

Immerhin war es doch von gewissem Interesse zu erfahren, wie stark und in welchem Rahmen Buchenholz von bestimmter Ringbreite schwindet, da es in der Praxis bedeutend leichter ist die durchschnittliche Ringbreite als z. B. die Raumdichtezahl zu ermitteln.

Aus nachstehender Tabelle ist die Tendenz des steigenden Schwindmaßes mit zunehmender Ringbreite bei Buche 1, 3 und 4 stark ausgeprägt, während man bei Buche 2 mit Recht sagen kann, daß die Ringbreite auf die Schwindung nur einen gewissen geringen Einfluß hat. Zahlenmäßige Angaben sind in Tabelle 6 enthalten:

Tabelle 6

Ringbreite in mm	Volumenschwindmaß (a_v) in Hundertteilen							
	Buche 1	Pr.	Buche 2	Pr.	Buche 3	Pr.	Buche 4	Pr.
0,5—0,7	16,5	29	15,7	6	16.9	33	15,5	13
0,7—0,9	17,1	35	15,4	21	17,1	46	16,0	40
0,9—1,1	17,5	24	15,4	31	17,4	39	16,4	34
1,1—1,3	17,9	7	15,3	21	17,6	14	16,5	26
1,3—1,5	18,5	7	15,2	28	17,8	6	16,9	6
1,5—1,7	19,2	9	15,7	12	—	—	16,5	10
1,7—1,9	19,2	7	15,8	8	—	—	—	—
1,9—2,1	18,4	5	15,8	1	—	—	—	—

Diese Erscheinung rührt daher, daß neben dem Volumenschwindmaß auch noch die Raumdichtezahl mitspielt.

Stellt man nach der Formel $a_v = f \cdot R$ das Verhältnis der Volumenschwindung zur Raumdichtezahl für verschiedene Ringbreiten fest, so wird man sehen, daß der Faktor nicht für alle Ringbreiten gleich ist, sondern mit zunehmender Ringbreite im allgemeinen abnimmt. Beispielsweise ist bei Buche 3 der Faktor bei einer Ringbreite von 0,6 mm 33,3; für eine Ringbreite von 1,8 mm aber nur 32,3. Der Schnittpunkt der Kurve hat bei einer Ringbreite von 1,38 mm einen Faktor von 32,6. Probestamm 2 und 4 ähneln sich stark. Bei Beiden liegt der Schnittpunkt der Kurven bei einer Ringbreite von etwa 0,8 mm. Auch hier steigt

die Raumdichtezahl mit zunehmender Ringbreite schneller als das Schwindmaß. Anders ist das Bild bei Probestamm 1, der das schwerste Holz besitzt. Bei ihm steigt des Schwindmaß schneller als die Raumdichtezahl.

Als Faktor f ist bei den 4 Probestämmen folgender Wert für verschiedene Ringbreiten ermittelt worden:

Probe-stamm	Ringbreite 0,6	1,0	1,4	1,8
1	30,3	31,1	31,8	32,5
2	29,2	29,0	28,9	28,7
3	33,3	32,9	32,6	32,4
4	29,8	29,5	29,3	29,0

Man sieht also, daß durchaus nicht immer zu einem bestimmten Raumgewicht ein bestimmtes Schwindmaß gehört, sondern daß bei 3 Stämmen das Holz mit engen Jahrringen im Verhältnis zu seinem Gewicht etwas stärker schwindet als mit breiten Jahrringen. Dabei liegt aber der Schnittpunkt der Schwindungs- und Gewichtskurve nicht bei einer bestimmten Ringbreite.

3. Das Schwindmaß tangential, radial und längs zur Faser.

Aus den vorangegangenen Abschnitten hat man bereits gesehen, daß die Volumenschwindung bei den 4 Probestämmen nicht gleichmäßig ist, und es blieb daher festzustellen, wie stark das Holz in den einzelnen Faserrichtungen schwindet. Hier war die schon früher beschriebene Form der Probekörper von großem Vorteil und erleichterte die Messung außerordentlich.

Nach Kollmann (1936) hat das Holz der Buche im großen Durchschnitt eine Schwindung in der Faserlängsrichtung von 0,3%, in tangentialer Richtung von 11,8% und in radialer Richtung von 5,8%. Da anzunehmen war, daß diese Werte hauptsächlich von Flachlandsbuchen erhalten wurden, schien es möglich, daß die Buche der Hochlage von der des Flachlandes auch in der Schwindung in den einzelnen Richtungen sich unterscheiden könnte, zumal ja die Volumenschwindung bedeutend geringer als bei Flachlandsbuchen war.

Bei den 4 Probestämmen wurden folgende Einzelwerte für die Schwindung in den einzelnen Richtungen ermittelt und in

Tabelle 7 zusammengestellt. Als Vergleich mit einer anderen Holzart sind die Werte für Fichte, nach Kollmann, mit angegeben.

Tabelle 7

Probestamm	Schwindmaß in Hundertteilen							
	längs	Zahl	tang.	Zahl	rad.	Zahl	Vol.	Zahl
1	0.27	119	12,15	119	5,77	111	17,5	111
2	0,17	119	10,88	119	5,02	108	15,6	111
3	0,68	221	11,56	221	5,81	183	17,5	143
4	0,56	180	10,82	191	5,61	150	16,3	108
1—4	0,47	639	11,32	650	5,59	552	16,8	473
Buche nach Kollmann	0,30		11,80		5,80		17,6	
Fichte	0,30		7,80		3,60		12,0	
1—4	4 : 100 : 49							
Buche nach Kollmann	3 : 100 : 49							
Fichte	4 : 100 : 46							

Berechnet man die Volumenschwindung aus den Werten des Schwindmaßes der einzelnen Richtungen nach der Formel

$$a_v = 100^3 - (100 - a_l)\ (100 - a_t)\ (100 - a_r)$$

so erhält man einen durchaus befriedigenden Wert von 16,7%. Der Unterschied dieser errechneten Größe mit dem gemessenen Wert von 16,8% erklärt sich aus der wegen der Kleinheit der Proben nur ungenau zu messenden Längsschwindung.

Das Verhältnis des Schwindmaßes der einzelnen Richtungen zueinander, bezogen auf die Tangentialschwindung, ist bis auf die kleine Abweichung im Längsschwindmaß bei Kollmann und mir gleich. Auch bei Fichte ist es ähnlich.

Das Schwindmaß ist sehr starken Schwankungen unterworfen. Beispielsweise liegt Buche 2 bedeutend unter den Werten Kollmanns, auch ist bei dem Durchschnitt aller 4 Probestämme die Schwindung in der Längsrichtung stärker als bei Kollmann, in tangentialer und radialer Richtung aber schwächer. Die Fichte liegt in den Einzelwerten bedeutend tiefer als die Buche, doch ist das Verhältnis zwischen den einzelnen Richtungen ungefähr das Gleiche wie bei dem Mittelwert von Probestamm 1—4.

Bei rotkernigem Holz betrug die Schwindung in den einzelnen Richtungen

	längs		tangential		radial	
	rotkern.	weißkern.	rotkern.	weißkern.	rotkern.	weißkern.
Buche 1	0,18	0,27	11,1	12,2	6,2	5,8
„ 2	0,12	0,17	10,7	10,9	5,3	5,0
„ 3	0,61	0,68	11,6	11,6	6,4	5,8
„ 4	0,56	0,56	11,0	10,8	6,2	5,6
Buche 1—4	0,37	0,47	11,1	11,3	6,0	5,6

Vergleicht man hier das rotkernige mit dem weißkernigen Holz, so sieht man, daß rotkerniges Holz in der Längs- und Tangentialrichtung weniger stark schwindet als weißkerniges Holz. In radialer Richtung scheint es umgekehrt zu sein. Hier schwindet der rote Kern stärker.

III. Festigkeitseigenschaften.

1. Verfahren.

Zahlreiche Forscher wie Rudeloff (1889), Schwappach (1897, 1898), Exner (1875), Nördlinger (1860), Janka (1915), Baumann (1922), Seeger (1936) und viele andere untersuchten bereits das Holz der Flachlandsbuche auf seine Festigkeitseigenschaften. Meist geschah die Ausformung der Probekörper in uneinheitlicher Weise. Immer aber handelt es sich bei allen Versuchen um lufttrockenes oder absoluttrockenes Holz. Nur selten wurde mit der Festigkeit auch der Feuchtigkeitsgehalt angegeben.

Wie ich schon eingangs dieser Arbeit dargelegt habe, wählte ich auch bei den Festigkeitseigenschaften für die Probekörper den waldfrischen Zustand, eine Methode, die besonders in England und Amerika stark verbreitet ist. Um aber einen Vergleich mit früheren Untersuchungen zu erhalten, wurden die Festigkeiten auch in lufttrockenem Zustande ermittelt.

Von den Probekörpern wurde sofort nach dem Festigkeitsversuch ein Stück entnommen, dessen Feuchtigkeitsgehalt sich durch Bestimmung des kurz nach dem Versuch vorhandenen

Gewichtes sowie des Gewichtes im Darrzustand nach folgender Formel:

$$\text{Feuchtigkeitsgehalt} = \frac{\text{Frischgewicht} - \text{Darrgewicht}}{\text{Darrgewicht}} \cdot 100$$

berechnen ließ. Es wurde angenommen, daß der Feuchtigkeitsgehalt des Probestückes dem des gesamten Probekörpers entspricht. Durch Volumenmessung der Probestücke kurz nach Versuch sowie im absoluttrockenen Zustand wurde gleichzeitig auch die Raumdichtezahl, das Raumgewicht und die Volumenschwindung festgestellt.

Die Wahl und Ausformung der Probekörper sowie die Durchführung der Versuche entsprach genau den in Deutschland für die Holzfestigkeitsprüfungen vorgeschriebenen Prüfnormen DIN DVM, und zwar

Druckfestigkeit	nach	DIN	DVM	2148
Zugfestigkeit	„	„	„	2187
Biegefestigkeit	„	„	„	2185
Schlagbiegefestigkeit	„	„	„	2188

Allein bei Prüfung der Spaltfestigkeit wurde, da noch keine Prüfnorm hierfür vorhanden war, die Ausformung der Probekörper nach dem in wiederholten Versuchen verschiedener Forscher erprobten Verfahren von Nördlinger (1860) durchgeführt.

Leider wurde bei früheren Versuchen (Schwappach (1897, 1898), Rudeloff (1889) u. a.) hinsichtlich Prüfung der Druckfestigkeit eine Form der Probekörper gewählt, die einem Würfel mit einer Kantenlänge von 25—100 mm entsprach. Diese Körper ergeben im allgemeinen eine etwas höhere Druckfestigkeit als Prismen. Man ging daher jetzt zu den in den DIN-Normen geforderten Prismen über.

2. Druckfestigkeit.

Die Werte für die Druckfestigkeit des Buchenholzes schwanken sehr stark. Für frisches Holz wurde als Mittel von 24 Proben eine Druckfestigkeit von 267 kg/cm² bei einem mittleren Feuchtigkeitsgehalt von 81% gefunden. Untersuchungen für amerikanisches Buchenholz (fagus grandifolia) von Markwardt und Wilson (1935) mit einer durchschnittlichen Festigkeit von 249,5 kg/cm²

und englische Ergebnisse von Chaplin und Mooney (1930) mit 246,8 kg/cm² fallen in den gleichen Rahmen. Diese relativ niedere Festigkeit ist durch den hohen Feuchtigkeitsgehalt zu erklären.

Deutlich wird der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Druckfestigkeit im Vergleich mit den Werten der lufttrockenen Proben. Leider wird erst seit neuerer Zeit auch ein genaues Feuchtigkeitsprozent angegeben wie z. B. von Kollmann (1936), Seeger (1936), Langenkamp (1931) und den Angaben der MPA Stuttgart (aus Seeger). Einer Zusammenstellung von Seeger, die in Tabelle 8 wiedergegeben ist, wurden die Ergebnisse meiner Untersuchungen zum Vergleich hinzugefügt.

Tabelle 8

	Feuchtigkeit %	Raumgew. g/cm³	Druckfestigkeit kg/cm²	Proben
Langenkamp	0	0,645	705 (654—1073)	170
Größler	9	0,634	625 (554—699)	14
Seeger	rd. 10	0,670	623 (526—680)	103
MPA	11—12	0,675	576 (521—615)	80
MPA	rd. 13	0,670	556 (497—611)	12
Kollmann	rd. 15	0,690	530 (350—840)	—
MPA	24—25	0,650	299 (250—363)	103
Größler	81	0,655	267 (213—340)	24

Man erkennt aus dieser Zusammenstellung deutlich, daß mit zunehmender Feuchtigkeit die Druckfestigkeit zuerst stark, dann aber in geringerem Maße abnimmt.

Der Einfluß des roten Kernes auf die Druckfestigkeit konnte durch einige Proben festgestellt werden. Bei der Druckfestigkeit frischen Holzes schwanken die erhaltenen Werte von 190 kg/cm² bis 249 kg/cm² und liegen mit einem Mittel von 226 kg/cm² etwas unter dem bereits angegebenen Wert von 267 kg/cm² für weißkerniges Holz. In lufttrockenem Zustand beträgt die mittlere Druckfestigkeit 606 kg/cm² (554—643) gegenüber weißkernigem Holz mit 625 kg/cm². Der Feuchtigkeitsgehalt war bei rotkernigem und weißkernigem Holz gleich.

Daß die Druckfestigkeit aber mit dem Raumgewicht in ursächlichem Zusammenhang steht, ist ja oft nachgewiesen worden. Immer wurde mit zunehmendem Raumgewicht und somit auch zunehmender Raumdichtezahl eine steigende Druckfestigkeit festgestellt.

Die Ansicht Schwappachs, daß die Druckfestigkeit zur Kennzeichnung der Holzbeschaffenheit einer Holzart genüge, ist als überholt zu bezeichnen; hierfür finden sich in den folgenden Abschnitten Beispiele.

3. Zugfestigkeit.

Auch die Zugfestigkeit frischen Buchenholzes schwankt in starkem Maße und zwar von 704—1133 kg/cm² = 62% bei den untersuchten Probestämmen und ergibt einen Mittelwert von 986 kg/cm² bei einem mittleren Feuchtigkeitsgehalt von 66,8%.

M a r k w a r d t und W i l s o n (1935) stellten gleichfalls Versuche an frischem Rotbuchenholz an und erhielten als mittlere Zugfestigkeit einen Wert von 880 kg/cm². Abnehmende Feuchtigkeit steigert im allgemeinen die Zugfestigkeit, jedoch, wie G r a f (1929) nachwies, nur bis zu einer bestimmten Feuchtigkeit, die man mit etwa 7—8% annehmen kann. Sinkt die Feuchtigkeit unter diesen Wert, so nimmt die Zugfestigkeit wieder ab, eine Erscheinung, wie sie später auch bei der Schlagbiegefestigkeit geschildert wird.

Infolge des ziemlich astigen Holzes mußten sehr viele Proben ausgeschieden werden, sodaß die verbliebenen 9 ganz astreinen Proben zur Ermittlung des tatsächlichen Mittelwertes für die Zugfestigkeit im lufttrockenen Zustand nicht als ausreichend angesehen werden können, obwohl die erhaltenen Werte nur wenig schwanken. Die untersuchten Proben ergaben bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 7,3% eine mittlere Zugfestigkeit von 1025 (944—1103) kg/cm².

Demgegenüber fanden G a b e r und H o e f f g e n (1931) eine Zugfestigkeit von 1227 kg/cm². K o l l m a n n (1936) gibt in seiner Zusammenstellung sogar 1350 kg/cm² für lufttrockenes Holz (15% Feuchtigkeit) an. Leider fehlt bei G a b e r und H o e f f g e n die Feuchtigkeitsangabe.

Auch hier bedingt zunehmendes Gewicht zunehmende Festigkeit.

Zur Ermittlung der Zugfestigkeit rotkernigen Holzes standen keine Proben zur Verfügung.

4. Biegefestigkeit.

Die für die Biegefestigkeit frischen Buchenholzes gefundenen Werte liegen zwischen 485 und 751 kg/cm² und ergeben eine Schwankung von 64,6%. Bei der zur Verfügung stehenden Anzahl von Proben war es möglich, ein verhältnismäßig genaues Bild der wahren Biegefestigkeit und ihres Verhältnisses zur Raumdichtezahl zu gewinnen. Die mittlere Biegefestigkeit aller Proben betrug 597 kg/cm² bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 82,1%. Die Engländer Chaplin und Mooney (1930) geben eine Festigkeit von 576,5 kg/cm² an.

In lufttrockenem Zustand ergaben 14 Proben einen Mittelwert von 1099 kg/cm² bei 8,9% Feuchtigkeitsgehalt. Im Vergleich zu der Angabe von Gaber und Hoeffgen (1931), ebenso Kollmann (1936) mit 1050 kg/cm² erreicht die Hochgebirgsbuche die Festigkeit der Flachlandsbuche nicht ganz, da der Feuchtigkeitsgehalt bei Gaber und Hoeffgen sowie auch bei Kollmann wohl mit etwa 15% angenommen werden muß und, wie ja bekannt ist, abnehmende Feuchtigkeit die Festigkeit wesentlich steigert.

Der Elastitätsmodul (E-Modul) bei frischem Holz besitzt einen Mittelwert von 96400 (85300—114800), was den amerikanischen Untersuchungen von Markwardt und Wilson (1935) mit einem E-Modul von 97000 und den englischen Angaben von Chaplin und Mooney (1930) mit 96000 sehr gut entspricht. Bei den lufttrockenen Proben wurde ein E-Modul von 120000 als Mittel aller Proben gefunden, wogegen Kollmann (1936) einen Wert von 160000 kg/cm² parallel zur Faserrichtung angibt.

Der Elastitätsmodul (E-Modul) des rotkernigen Holzes im Frischzustand liegt bedeutend unter dem Wert des weißkernigen Holzes. Es wurde ein mittlerer Wert von 58200 für rotkerniges Holz gegenüber 96400 für weißkerniges Holz gefunden. Eigenartigerweise ist weißkerniges Holz in lufttrockenem Zustand mit 119960 nur wenig elastischer als rotkerniges Holz mit 113940 kg/cm².

Hinsichtlich der Biegefestigkeit an sich bestand jedoch kein großer Unterschied. Die Ergebnisse waren:

	In frischem Zustand Biegefestigkeit	E-Modul
weißkernig	596,5 kg/cm²	96 400 kg/cm²
rotkernig	554,5 kg/cm²	58 200 kg/cm²

In lufttrockenem Zustand zeigte rotkerniges Holz eine Biegefestigkeit von 1053,1 kg/cm², weißkerniges Holz eine solche von 1099,0 kg/cm². Der Feuchtigkeitsgehalt (9%) entsprach hier ebenso wie bei der Druckfestigkeit dem des weißkernigen Holzes.

Eine Vergleichsmöglichkeit bieten die Untersuchungen von Gaber und Hoeffgen (1931), worin eine bedeutende Beeinträchtigung der Festigkeitseigenschaften durch das Auftreten des roten Kernes sowohl im frischen wie im lufttrockenen Zustand nachgewiesen wurde. (Siehe Zusammenstellung am Schluß der Arbeit.) Wahrscheinlich würde eine größere Probenzahl dies auch für die Hochgebirgsbuche gleichermaßen feststellen.

Wir sehen also, daß der rote Kern das gesunde Holz bedeutend spröder macht. In vorliegendem Fall liegen die Werte in frischem Zustand sogar 50% unter denen des weißkernigen Holzes.

Der starke Einfluß des Raumgewichtes bezw. der Raumdichtezahl auf die Festigkeit geht aus nachstehender Uebersicht hervor.

Im waldfrischen Zustand		
Raumdichtezahl	Biegefestigkeit	Proben
510 kg/m³	562,6 kg/cm²	5
530 „	581,6 „	9
550 „	610,2 „	1
570 „	622,5 „	2
590 „	717,5 „	2

Daß Aeste oder sonstige Fehlstellen eine starke Einwirkung auf die Festigkeit haben, konnte bei verschiedenen Probekörper einwandfrei festgestellt werden. Schon Astnähe oder leichtes Ausbiegen der Jahrringe verminderte die Festigkeit bedeutend. Ich verweise an dieser Stelle nur auf die Untersuchungen von Baumann (1922).

Es wurde beispielsweise gegenüber den bereits angegebenen Festigkeitswerten von 595 kg/cm² für normales, frisches Holz bei astigen Proben nur eine solche von höchstens 300 kg/cm² erreicht.

Die bei den Versuchen erzielten Bruchbilder zeigten deutlich die für hohe Festigkeit charakteristische Splitterigkeit sowie den glatten Bruch bei Auftreten von Aesten.

5. Schlagbiegefestigkeit.

Zur Prüfung der Schlagbiegefestigkeit in frischem Zustand standen 15 Proben zur Verfügung, die einen mittleren Wert von 1,028 mkg/cm² bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 65,4% ergaben. Die Ergebnisse waren aber starken Schwankungen unterworfen, was auf die großen Verschiedenheiten innerhalb der Raumdichtezahl zurückzuführen ist. Proben mit höherem Gewicht weisen auch höhere Festigkeiten auf als solche mit leichterem Gewicht.

Lufttrockenes Holz hatte bei einer Anzahl von 10 Proben eine mittlere Schlagbiegefestigkeit von 1,114 mkg/cm² bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 8,5%, ein Wert, der um 39% höher ist als der von Gaber und Hoeffgen (1931) angegebene. Hierbei ist vor allem der Feuchtigkeitsgehalt zu berücksichtigen, da es sich bei Gaber und Hoeffgen um einen Feuchtigkeitsgehalt von 15% handeln dürfte.

Wie Seeger (1936) angibt, ist das Verhältnis der Schlagbiegefestigkeit zum Feuchtigkeitsgehalt bei Buche gerade umgekehrt wie bei den übrigen von ihm untersuchten Holzarten. Er berichtet: „Mit abnehmendem Feuchtigkeitsgehalt nimmt die Schlagfestigkeit zu, bis etwa 16—17% Feuchtigkeit vorhanden ist. Bei geringerer Feuchtigkeit ist eine Abnahme der Schlagfestigkeit zu beobachten, die etwa halb so groß ist wie bei höherer Feuchtigkeit." Die von Seeger angeführten und in Folgendem angegebenen Werte bestätigen dies jedoch nicht, da nach diesen die Festigkeit mit zunehmender Feuchtigkeit anzusteigen scheint.

Vergleicht man nun die Ergebnisse der von mir untersuchten 4 Probestämme mit den Angaben Seegers, so ergibt sich, nach Feuchtigkeitsgehalt geordnet, folgendes Bild:

	Feuchtigkeit %	Festigkeit mkg/cm²
Probestamm 1—4	8,5	1,114
nach Seeger	9,0	1,956
" "	16—17,0	2,010
" "	24—25,0	2,025
Probestamm 1—4	65,4	1,028

Die Werte bei der Hochgebirgsbuche liegen demnach unter dem von Seeger gefundenen Durchschnitt.

Daß der Verlauf der Jahrringe innerhalb des Probekörpers von großem Einfluß auf die Festigkeit ist, zeigt Ghelmeziu (1938) in seinen Untersuchungen. Er fand bei einer Abweichung der Jahrringe von 5° nur noch 90% der ursprünglichen Festigkeit, bei einer Abweichung von 10° sogar nur noch die halbe Festigkeit als bei geradlinigem Jahrringverlauf. Dies könnte eine Begründung für den noch nicht völlig geklärten Einfluß der Feuchtigkeit sein.

6. Spaltfestigkeit.

Da für die Prüfung der Spaltfestigkeit des Holzes noch keine Norm besteht, wurde den Probekörpern die von Nördlinger (1860) empfohlene Form gegeben, wie sie an der Holzforschungsstelle München angewendet wird.

Eine ähnliche Form der Probekörper wandte Stoy (1938) in seinen Untersuchungen an. Der Unterschied besteht jedoch darin, daß Stoy eine Spaltfläche von 10 cm² benutzte, während bei vorliegenden Versuchen die Spaltfläche zwischen 25 und 30 cm² schwankt.

Die Bruchbilder waren immer glatt und hielten sich genau an den Jahrringverlauf. Je ein Teilstück einer Spaltprobe diente zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes und des Raumgewichtes, ähnlich wie es bei der Biegefestigkeit beschrieben wurde.

Die 14 Spaltproben ergaben in frischem Zustand eine mittlere Spaltfestigkeit von 3,7 kg/cm² (2,4—4,9) bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 50,7%. Die von den Engländern Chaplin und Mooney (1930) angegebene Spaltfestigkeit frischen Holzes beträgt 2,78 kg/cm², jedoch fehlt die Feuchtigkeitsangabe.

Daß wie bei den anderen schon behandelten Festigkeitseigenschaften auch die Spaltfestigkeit trockenen Holzes im allgemeinen höher als bei waldfrischem Holz ist, zeigt das Ergebnis der 10 lufttrockenen Proben, die eine Spaltfestigkeit von 4,17 kg/cm² (3,37—4,70) bei 8% Feuchtigkeit aufweisen.

Es konnte trotz verhältnismäßig geringer Anzahl von Proben auch bei der Spaltfestigkeit ein gleichsinniges Verhalten der Festig-

keit gegenüber der Raumdichtezahl nachgewiesen werden, wie es bei den bisher untersuchten Festigkeiten der Fall war. Das Verhältnis im frischen Zustand war etwa folgendes:

Raumdichtezahl kg/m³	Spaltefestigkeit kg/cm²	Proben
490	3,77	1
510	3,35	2
520	3,34	3
530	3,79	3
550	3,39	2
570	4,34	2
620	4,94	1

Zu erwähnen sei hier noch die Arbeit von Stoy (1938), die einen guten Einblick in das Abhängigkeitsverhältnis der Spaltfestigkeit vom Raumgewicht und Feuchtigkeitsgehalt vermittelt. Stoy fand, daß die Laubhölzer im allgemeinen bei gleicher Spaltfestigkeit ein höheres Raumgewicht gegenüber den Nadelhölzern aufweisen. Ebenso beweist er, daß die Spaltfestigkeit mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt abnimmt. Stoy gibt als mittlere Spaltkraft in radialer Richtung für alle Laubhölzer einen Durchschnitt von 45 kg an, was nach Umrechnung auf den Querschnitt einer Spaltfestigkeit von 4,5 kg/cm² entspricht. Für die Buche ist aus seiner Zeichnung ein mittlerer Wert von 4,7 kg/cm² zu entnehmen bei einer Feuchtigkeit von etwa 16—17%.

Bedenkt man, daß die Proben von Buche 1—4 nur 8% Feuchtigkeit aufwiesen und eine Spaltfestigkeit von nur 4,17 kg/cm² ergaben, so erkennt man die Ueberlegenheit der Flachlandsbuche auch bei der Spaltfestigkeit. Auffallend ist auch bei der Hochgebirgsbuche der verhältnismäßig geringe Unterschied zwischen der Spaltfestigkeit in frischem und lufttrockenem Zustand.

7. Allgemeines über die Festigkeit der Buche.

a) Gütezahl.

Unter der Gütezahl versteht man das Verhältnis der Festigkeit zum Raumgewicht. Durch die Gütezahl ist es möglich, bei bekanntem Raumgewicht sogleich auf die betreffende Festigkeit zu schließen.

Es wurde die Gütezahl bezogen auf das Raumgewicht in lufttrockenem Zustand, sowohl für die Druck- als auch für die Zugfestigkeit gebildet und zum Vergleich die entsprechenden Gütezahlen, die nach Angaben von Kollmann (1936) errechnet wurden, beigefügt. Um zu sehen, wie sich die Buche in den Rahmen der anderen Holzarten einfügt, wurden der Tabelle 9 noch die Gütezahlen für Fichte, Kiefer, Lärche, Tanne, Eiche, Esche und Bergahorn beigegeben, die ebenfalls nach Angaben von Kollmann errechnet wurden.

Tabelle 9

Holzart	Feuchtigkeit	Gütezahl bez. auf r_{15} für Druckfestigkeit in km	Gütezahl bez. auf r_{15} für Zugfestigkeit in km
Buche 1—4	lufttrocken	9,3	15,3
„ nach Kollmann	„	7,3	18,5
Fichte	„	9,1	19,1
Kiefer	„	9,0	20,0
Lärche	„	9,0	18,1
Tanne	„	8,9	18,7
Eiche	„	7,8	13,0
Esche	„	6,7	14,4
Bergahorn	„	7,8	13,0

b) Das Verhältnis der Druck- zur Zugfestigkeit.

Das Verhältnis der Druckfestigkeit zur Zugfestigkeit ist bei den einzelnen Holzarten sehr verschieden. Es wäre daher möglich, daß auch zwischen den Standorten hier eine Verschiedenheit besteht. Es wurde daher das Verhältnis der Druckfestigkeit zur Zugfestigkeit für die Probestämme 1—4 in frischem und lufttrockenem Zustand hergestellt und mit der Flachlandsbuche sowie

anderen Holzarten verglichen, wie es nachstehende Zusammenstellung zeigt:

Holzart	Feuchtigkeit	Druckfestigkeit : Zugfestigkeit
Buche 1—4	frisch	1 : 3,7
nach Markwardt u. Wilson	„	1 : 3,5
nach Kollmann	lufttrocken	1 : 2,5
nach Gaber und Hoeffgen	„	1 : 2,1
Buche 1—4	„	1 : 1,6
nach Kollmann:		
Fichte	„	1 : 2,1
Kiefer	„	1 : 2,2
Lärche	„	1 : 2,0
Tanne	„	1 : 2,1
Eiche	„	1 : 1,7
Esche	„	1 : 2,2
Bergahorn	„	1 : 1,7

Wieder ist das Verhältnis von dem Feuchtigkeitsgehalt abhängig. Es fällt weiter auf, daß die Druckfestigkeit gegenüber der Zugfestigkeit bei Nadelholz im allgemeinen größer ist, ein gleichmäßiger Feuchtigkeitsgehalt vorausgesetzt. Unter den Buchen scheint die von mir untersuchte Hochgebirgsbuche keine Sonderstellung einzunehmen.

IV. Die Gebirgsbuche im Vergleich zu anderen Laubhölzern.

Von Bedeutung ist es zu wissen, welche Stellung die Gebirgsbuche unter den in Deutschland heimischen Laubhölzern bezüglich ihrer Eigenschaften einnimmt.

Das hohe Raumgewicht der Gebirgsbuche mit 0,65 g/cm³ liegt an der oberen Grenze der Laubhölzer. Es wird nur von Hainbuche (0,79), Flachlandsbuche und Esche (0,68) und Eiche

(0,65) erreicht. Die anderen Laubhölzer liegen teilweise sehr beträchtlich unter diesen Werten (Linde, Erle 0,49).

Neben dem Holz der Hainbuche schwindet die Rotbuche mit 16—17 % Volumenschwindung am stärksten; am nächsten kommt ihr noch die Linde mit 15 %. Die übrigen Laubhölzer bewegen sich bei 11—13 % Schwindung. Das Verhältnis von $a_r : a_t = 1 : 2$ ist bei Rotbuche am größten. Aehnlich ist nur noch Bergahorn. a_l liegt bei dem Durchschnitt für Laubholz.

In den Festigkeitseigenschaften liegt die Rotbuche ebenfalls an der oberen Grenze der Laubhölzer. Nur Hainbuche und Eiche weisen ähnliche günstige Verhältnisse auf. Erle und Linde bewegen sich an der unteren Grenze. In Zugfestigkeit und Elastizität wird die Rotbuche jedoch von keinem anderen Laubholz erreicht.

E. Zusammenfassung.

1. Raumgewicht.

Die Raumdichtezahl (R) ergibt genauere Werte als das Raumgewicht, da man von der Schwindung und den damit verbundenen Fehlerquellen unabhängig wird.

Die Wahl der Probekörperausformung erwies sich als vollauf genügend zur Feststellung der wahren Verteilung des Raumgewichtes. Ein großer Vorteil des Holzprismas besteht in der leichten Bestimmung des Volumens und des Schwindmaßes der Probekörper. Der Nachteil einer nicht gleichmäßigen Verteilung der Zuwachsmasse in den mark- wie rindennahen Zonen wird dadurch vermieden, daß die Zuwachsermittlung an Hand der Stammanalyse durch Planimetrierung der quadrierten Radien vorgenommen werden kann.

Raumdichtezahl und Raumgewicht sinken im Durchschnitt mit zunehmender Stammhöhe und zwar im unteren Stammteil zuerst sehr rasch, bleiben dann bis etwa zum Kronenansatz ungefähr gleich, um darüber wieder langsam zuzunehmen; dabei werden jedoch die Werte der unteren Stammteile nicht erreicht.

Auch innerhalb der einzelnen Stammscheiben ist der Verlauf der Raumdichtezahl und des Raumgewichtes nicht gleichmäßig, sondern fällt von innen nach außen zuerst stark ab, um in den rindennahen Zonen leicht anzusteigen.

Mit zunehmender Ringbreite steigt die Raumdichtezahl und das Raumgewicht bei Buche im Gegensatz zu Fichte, bei der es sich umgekehrt verhält. Kiefer und Lärche haben bei einer bestimmten Ringbreite ein Maximum, von dem ab das Gewicht sowohl mit zunehmender als auch mit abnehmender Ringbreite fällt.

Die Raumdichtezahl ist nicht so starken Schwankungen unterworfen wie das Raumgewicht. Das Gewicht der Hochgebirgsbuche liegt aber im Durchschnitt unter den Werten der Flachlandsbuche. Der Wurzelanlauf oder Aeste bewirken einen Anstieg des Gewichtes.

Der Gewichtsunterschied zwischen den einzelnen Standorten ist bedeutend geringer als beispielsweise bei Fichte.

Steigendes Raumgewicht hat eine Vergrößerung der Volumenschwindung zur Folge. Der Einfluß der Krone oder Aeste machte sich störend bemerkbar.

Die Raumdichtezahl und das Raumgewicht des roten Kernes ist im allgemeinen höher als bei weißkernigem Holz, doch sind auch hier große Schwankungen vorhanden.

Für die stoffliche Verwertung ist die Gewichtsvermehrung durch diese Verkernung ohne Bedeutung, wenn nicht sogar hinderlich.

2. Schwindung.

Das in amerikanischen Arbeiten mit der Formel $a_v = 28\,R$ (%) angegebene Verhältnis der Schwindung zu dem Raumgewicht ist für die untersuchten Probestämme nicht zutreffend. Die Formel für Buchenholz muß vielmehr lauten: $a_v = 30\ R$ (%).

Auch mit steigender Ringbreite nimmt die Schwindung zu; dabei zeigte es sich, daß bei schwerem Holz die Zunahme bedeutend größer ist als bei leichtem Holz.

Der Faktor f der Formel $a_v = f \cdot R$ nimmt mit zunehmender Ringbreite ab, d. h. das Gewicht steigt schneller als die Schwindung. Probestamm 1 jedoch zeigte ein umgekehrtes Verhältnis.

Im allgemeinen kann jedoch gesagt werden, daß engringiges Holz im Verhältnis zu seinem Gewicht stärker schwindet als breitringiges Holz.

Die Schwindmaße in radialer und tangentialer Richtung sind unter sich sehr verschieden.

Im allgemeinen schwindet rotkerniges Holz stärker als weißkerniges Holz. Der Faktor f der Formel $a_v = f \cdot R$ ist jedoch in beiden Fällen der gleiche. In radialer Richtung schwindet der rote Kern stärker, in der Längs- und Tangentialrichtung aber schwächer als weißkerniges Holz.

3. Festigkeit.

Die Druckfestigkeit nimmt mit steigendem Gewicht zu, mit zunehmender Feuchtigkeit zuerst rasch, dann langsamer ab.

Bei der Zugfestigkeit und ebenso bei der Biegefestigkeit wurde ein gleichsinniges Verhalten der Hochgebirgsbuche wie bei der Druckfestigkeit festgestellt.

Aeste und sonstige Fehlerquellen hatten eine starke Verminderung der Festigkeit zur Folge. Zum Raumgewicht verhält sich die Schlagbiegefestigkeit der Buche wie bei den übrigen Festigkeitseigenschaften.

Auch die Spaltfestigkeit steigt mit zunehmendem Raumgewicht und nimmt mit zunehmender Feuchtigkeit ab. Dabei erreicht die Buche der Hochlagen nicht die Werte der Flachlandsbuche.

Die Gütezahl für die Druckfestigkeit ist bei den untersuchten Buchen in frischem Zustand um etwa 50% geringer als in lufttrockenem Zustand. Für Zugfestigkeit liegt die Buche im Rahmen der übrigen Laubhölzer. Nadelholz hat im allgemeinen eine höhere Gütezahl der Druck- wie auch der Zugfestigkeit.

Sinngemäß richtet sich das Verhältnis der Druck- zur Zugfestigkeit nach dem Feuchtigkeitsgehalt. Es wurde festgestellt, daß lufttrockenes Laubholz im Verhältnis zu seiner Druckfestigkeit eine höhere Zugfestigkeit aufweist als Nadelholz.

Die Druckfestigkeit genügt nicht zur Kennzeichnung des Holzes.

Die Festigkeit des roten Kernes ist gegenüber weißkernigem Holz geringer. Vor allem wird die Elastizität frischen Holzes durch den roten Kern etwa um die Hälfte herabgesetzt. Bei lufttrockenem Holz ist der Unterschied wesentlich geringer, was auch aus der Gütezahl hervorgeht.

F. Schriftenverzeichnis.

Baumann: Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfanstalt a. d. Techn. Hochschule Stuttgart. VDI-Zeitschrift. Berlin 1922.

Baumann-Lang: Das Holz als Baustoff. München 1927.

C. J. Chaplin and F. M. Mooney: Tests of some home-grown timbers in their green and seasoned conditions. Forest products research. Project 1: Progress report 2. London 1930.

Exner: Die techn. Eigenschaften der Hölzer. Handb. d. Forstw. 3. Aufl.

Exner: Studien über das Rotbuchenholz. Wien 1875.

Flury: Ertragstafeln für schweiz. Fichte und Buche.

Gaber: Festigkeitseigenschaften von Schwarzwaldhölzern. „Der Bauingenieur", 11. Jahrg. 1930, Heft 35.

Gaber und Hoeffgen: Versuche über die Festigkeit von rot- und weißkernigem Buchenholz. VDI-Zeitschrift 1931 Nr. 14.

Gayer: Waldbau. 1880.

Gayer-Fabricius: Forstbenutzung. 1936.

Gelinsky: Die Astreinigung der Rotbuche. Inauguraldiss. Hann.-Münden 1931.

Ghelmeziu: Untersuchungen über die Schlagfestigkeit von Bauhölzern. Holz als Roh- und Werkstoff. 1938.

Graf: Ueber die Abnahme und Prüfung der Hölzer. Mitt. a. d. Materialprüfanstalt a. d. Techn. Hochschule Stuttgart. Forstarchiv S. 237 1929.

Hartig und Weber: Das Holz der Rotbuche. Berlin 1888.

R. Hartig: Holzuntersuchungen, Altes und Neues. München 1901.

R. Hartig: Ueber die Verteilung der organ. Substanz des Wassers und Luftraumes in den Bäumen. Berlin 1882.

R. Hartig: Untersuchungen a. d. forstbotan. Institut München. Bd. II Berlin 1882, Bd. III Berlin 1883.

Janka: Die Härte der Hölzer. Mitt. a. d. forstl. Versuchswesen Oesterreichs XXXIX. Heft. Wien 1915.

Knuchel: Der Einfluß der Fällzeit a. d. Eigenschaften d. Buchenholzes. Mitt. d. schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchswesen Band XIX 2. Heft. Zürich 1935.

Kollmann: Technologie des Holzes. Berlin 1936.

Langenkamp: Das Raumgewicht des Rotbuchenholzes im Rohholzstamm. Inauguraldiss. Hann.-Münden 1931.

Markwardt und Wilson: Strength and related properties of woods grown in the United States. Technical Bulletin Nr. 479. Washington 1935.

Mayer-Wegelin: Verwendung des Rotbuchenholzes. Forstarchiv S. 253, 1929.

Metzger: Ueber das Konstruktionsprinzip des sekundären Holzkörpers. Naturw. Zeitschr. f. Forst- und Landw. 1908.

Metzger: Studien über den Aufbau der Waldbäume und Bestände nach statischen Gesetzen. Mündener forstl. Hefte 5. 1899.

Mikolaschek: Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzhölzer Böhmens. Mitt. a. d. forstl. Versuchswesen Oesterreichs. II. Bd. 1. Heft. Wien 1879

Mörath: Beiträge zur Kenntnis der Quellungserscheinungen des Rotbuchenholzes. Diss. a. d. Techn. Hochschule Darmstadt 1931.

Mörath: Studien über die hygroskop. Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Mitt. d. Holzforschungsstelle a. d. Techn. Hochschule Darmstadt Heft 1. 1932.

Münch: Versuche über Wege und Richtungen der Stoffbewegungen im Baum. Forstwissenschl. Centralblatt S. 305 ff. 1937.

Nördlinger: Die gewerblichen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart 1890.

Nördlinger: Die techn. Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart 1860.

Rudeloff: Bericht über die im Auftrage des Herrn Ministers f. Landw., Domänen und Forsten ausgeführten Holzuntersuchungen. Mitt. a. d. Kgl. Techn. Versuchsanstalt Ergänzungsheft III. Berlin 1889.

Schleicher: Untersuchungen über die Abhängigkeit des Raumgewichtes des Buchenholzes von der Stammform. Inauguraldiss. Hannover 1935.

Schwappach: Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. Bd. I Berlin 1897, Bd. II Berlin 1898.

Seeger: Untersuchungen über den Gütevergleich von Holz nach der Druckfestigkeit und nach der Schlagfestigkeit. Diss. Techn. Hochschule Stuttgart 1936.

Stoy: Spaltversuche an Holz. VDI-Zeitschrift Bd. 79 S. 1443, 1938.

Tetmajer: Methoden und Resultate der Prüfung schweizer Bauhölzer. Zürich 1883.

Trendelenburg: Untersuchungen über das Raumgewicht der Nadelhölzer. Tharandter Forstl. Jahrbuch 1937.

Trendelenburg: Aufbau und Eigenschaften des Fichtenholzes und anderer Zellstoffhölzer. Papierfabrikant, 34. Jahrg., H. 43, 44, 45, 46, 47, 1936.

Trendelenburg: Die Eigenschaften des Holzes und ihre Erforschung. „Das Bayerland" 47. Jahrg. Nr. 17.

Trendelenburg: Ueber Stammwuchsuntersuchungen und ihre Auswertung in der Holzforschung. „Holz als Roh- und Werkstoff" 1/2 1937.

Wykander: Untersuchungen der Festigkeitseigenschaften schwedischer Holzarten. Göteborg 1897.

Holzart	Zustand	Gewicht			Schwindung			
		r_0	r_{15}	R	α_l	α_r	α_t	α_v
		g/cm³	g/cm³	kg/m³	%	%	%	%
Buche Größler	frisch	0,57— **0,65** —0,80	—	470— **543** —640	**0,5**	**5,6**	**11,3**	**16,5**
Buche Größler	lufttrocken (8 %)	0,60— **0,64** —0,69	—	—	—	—	—	**10,5**
Buche rotkernig Größler	frisch lufttrocken (8 %)	0,59— **0,68** —0,84	—	490— **568** —670	**0,4**	**6,0**	**11,1**	**17,2**
Buche Markwardt u. Wilson	frisch	0,67	—	560	—	5,1	11,0	16,3
Buche Chaplin u. Mooney	frisch	—	—	563				
Buche Gaber u. Hoeffgen	weißkernig lufttr. (15 %) rotkernig							
Buche Kollmann	lufttrocken (15 %)	0,49— **0,68** —0,88	0,54— **0,72** —0,91	**560**	**0,3**	**5,8**	**11,8**	**17,5**
Fichte Kollmann	lufttrocken (15 %)	0,30— **0,43** —0,64	0,33— **0,47** —0,68	—	**0,3**	**3,6**	**7,8**	**12,0**
Kiefer Kollmann	lufttrocken (15 %)	0,30— **0,49** —0,86	0,33— **0,52** —0,89	—	**0,4**	**4,0**	**7,7**	**12,4**
Lärche Kollmann	lufttrocken (15 %)	0,40— **0,55** —0,82	0,44— **0,59** 0,85—	—	0,3	**3,3**	**7,8**	**11,8**
Eiche Kollmann	lufttrocken (15 %)	0,39— **0,65** —0,93	0,43— **0,69** —0,96	—	**0,4**	**4,0**	**7,8**	**12,6**

Festigkeit					
Druckfestigkeit σ_{-B}	Zugfestigkeit $\sigma_{B\parallel}$	Biegefestigkeit σ'_B	E-Modul $E_{\parallel}$	Schlagarbeit a	Spaltfestigk. $\perp$
kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	mkg/cm²	kg/cm²
213—**267**—340	704—**986**—1133	485—**595**—751	**96 400**	**1,028**	2,4—**3,7**—4,9
554—**625**—699	944—**1025**—1103	775—**1099**—1296	**120 000**	**1,114**	3,4—**4,2**—4,7
190—**226**—249 554—**606**—643	— **921**	454—**554**—662 728—**1053**—1186	**58 200** **113 900**	— **0,688**	— —
249	**880**	**605**	**97 000**	—	—
247	—	**577**	**96 000**	—	**2,8**
572 **507**	**1227** **958**	**1050** **857**	—	**0,820** **0,694**	—
350—**530**—840	570—**1350**—1800	630—**1050**—1800	**160 000**	**1,000**	**4,5**
300—**430**—670	400—**900**—2450	420—**660**—1163	**110 000**	**0,500**	—
300—**470**—800	350—**1040**—1960	350—**870**—2059	**120 000**	**0,700**	—
350—**530**—690	**1070**	540—**840**—1323	**120 000**	**0,700**	—
410—**550**—590	500—**900**—1800	600—**940**—1000	**130 000**	**0,750**	—